

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TAILY FERREIRA SANTOS FARIAS

**TECTÔNICA RÚPTIL POS-CRETÁCICA DO COMPLEXO ALCALINO DE
TUNAS (PR)**



CURITIBA

2016

TAILY FERREIRA SANTOS FARIAS

**TECTÔNICA RÚPTIL PÓS-CRETÁCICA DO COMPLEXO ALCALINO DE
TUNAS (PR)**

Dissertação apresentada como requisito à
obtenção do grau de Mestre em Geologia,
no curso de Pós-Graduação em Geologia,
área de concentração Geologia Ambiental.
Análise multitemporal, neotectônica e riscos
geológicos Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Salamuni

CURITIBA

2016

Farias, Taily Ferreira Santos

Tectônica rúptil pós-cretácica do complexo alcalino de Tunas
(PR) / Taily Ferreira Santos Farias. – Curitiba, 2016.

146 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor
de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia.

Orientador: Eduardo Salamuni

Bibliografia: p.133-139

1. Geomorfologia. 2. Tectonica de placas. I. Salamuni, Eduardo.
II. Título.

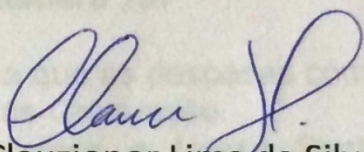
CDD 551.41

TERMO DE APROVAÇÃO

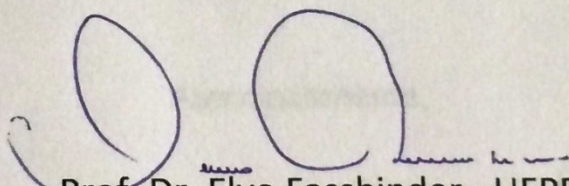
TAILY FERREIRA SANTOS FARIAS

“Tectônica rúptil pós-cretácica do complexo alcalino de Tunas (PR).”

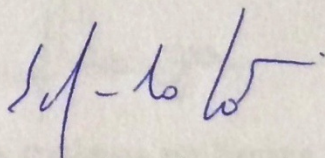
Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná. Comissão formada por:



Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva - UFRRJ



Prof. Dr. Elvo Fassbinder - UFPR



Prof. Dr. Eduardo Salamuni – UFPR
Presidente

Curitiba, 25 de agosto de 2016.

DEDICATÓRIA

Sem sombra de dúvida, dedico esse trabalho primeiramente à grande força do universo que paira no ar e nos mantém vivos e sempre dispostos a lutar por algum ideal. Sem essa poderosa força, acreditar na existência dela, não seria possível a concretização desse trabalho.

Normalmente eu dedicaria, em segundo lugar, essa dissertação à minha família que sempre esteve presente e disposta a me ajudar com o que eu precisasse, porém, o grande professor Salamuni merece esse segundo lugar por inúmeras razões, dentre elas à sua imensa paciência e capacidade de motivação.

Dedico a todos os meus familiares e amigos que sempre estiveram ao meu lado, em especial ao grande esposo Gustavo Hinz que muito me ajudou nessa jornada.

Dedico também ao grande Bigarella que nos deixou muitos ensinamentos.



AGRADECIMENTOS

Em primeiríssimo lugar agradeço ao grande mestre Eduardo Salamuni que acreditou em mim e me ensinou, ao longo desses quase dez anos de faculdade, a ser uma pessoa mais batalhadora, mais confiante em minhas habilidades como geóloga e também me ensinou o verdadeiro sentido de ensinar e aprender geologia. Apreendi muito com você, professor. Obrigada pelos seus ensinamentos, tanto em sala de aula quanto em campo.

Agradeço à minha família que sempre esteve ao meu lado disposta a me ajudar em todos os aspectos da vida. Em especial tenho que agradecer a minha queridona mãe que sempre me ensinou a acreditar numa força superior que nos guia. Meu grande gato de estimação não poderia ficar de fora, pois ele sempre foi parceiro desde que eu ficava madrugando estudando para a prova do mestrado e nesse exato minuto, ele está sentado no meu colo, dificultando um pouco eu escrever essas singelas palavras. Minha irmã Tahnee também me deu muitos conselhos de guerra, assim como minha querida avó Neuza e minha querida amiga Carininha. Tenho a agradecer imensamente a elas.

Nesses anos de faculdade, fiz muitos amigos e grandes parcerias, mas a maior delas foi sem dúvida a que eu fiz com Gustavo A. Hinz, meu geólogo preferido, meu grande amor que sempre me ajuda e por sinal faz ótimos figuras, inclusive muitos delas ilustrando essa dissertação. Obrigada pelo empenho e parceria.

Agradeço a UFPR, Universidade que eu admiro muito. Era meu sonho entrar na UFPR e fazer geologia, quem diria que estaria escrevendo uma dissertação? Isso prova que os sonhos nos movem adiante. Obrigada pela infra-estrutura que disponibilizou ao longo desses anos de faculdade, os R.Us da vida e os Intercampi foram providenciais. Até hoje como no R.U. e acho uma maravilha.

Agradeço aos professores do departamento de Geologia (DEGEOL) pelos ensinamentos ao longo desses quase dez anos e por sempre acreditarem no potencial de seus alunos. Apreendi com cada um deles, sem exceção.

Agradecimento especial devo ao professor Francisco Ferreira do LPGA que me ajudou muito com os dados geofísicos e com motivação, sempre disposto e bem-humorado.

Agradecimentos especiais aos queridos William Rudolf Lopes Peyerl, Gustavo Hinz e Ana Cecília Sowinski pela parceria nas etapas de campo. É sempre muito produtivo ir a campo com outros geólogos.

Agradeço ao pessoal do LAMIR que me tratou muito bem e me ensinaram diversas coisas, em especial o geólogo Rodrigo Secci que me deu uma força com os difratogramas de minerais, o químico Leandro Keiji que me ajudou com as imagens MEV-EDS, e aos técnicos em geral que me ensinaram o passo a passo para a preparação das amostras.

Agradeço à querida amiga Luciana Nogueira pela ajuda com o *abstract*.

Agradeço as considerações, sugestões e correções feitas pela professora Eleonora, Pio Fiori, pelo geólogo Zalán, pelo professor Fassbinder, professor Luiz Fernandes, professor Norberto Morales, professora Bárbara, professor Cadu, por conta de minhas participações em seminários e em exame de qualificação. Por fim, aos professores Clauzionor Lima da Silva e Elvo Fassbinder pelas considerações feitas na defesa da dissertação.

Agradeço ao professor Leonardo Cury pelas fotos aéreas e materiais didáticos que me enviou.

Agradeço ao professor Mauro Monastier por me passar as fotos 1:70.000 e me disponibilizar para tirar cópia.

Eu realmente agradeço a todas as pessoas que de forma direta ou indireta colaboraram com a elaboração desse trabalho.

A Serra do Mar

Antes, o Atlântico não existia...
A América do Sul ligava-se à África!
Era um todo, era o continente do Gondwâna.

Um dia, no Jurássico, algo aconteceu;
abriu-se enorme fenda, que
durante milhares de séculos
continuamente ampliou-se

O espaço aberto pela fratura,
pelo mar foi invadido!....
Os continentes afastavam-se.
Entre eles surgia um grande oceano.
E mais tarde, a imponente Serra do Mar!

(João José Bigarella)

RESUMO

A pesquisa reconheceu e caracterizou as estruturas rúpteis que ocorrem no Complexo Alcalino Tunas tais como juntas e falhas e correlacionou a tectônica que as geraram a eventos de deformação pós-cretácicos. A partir de uma análise comparativa, buscou-se igualmente estimar a idade máxima desses eventos deformacionais, bem como os eixos principais de paleotensão atuantes em cada evento deformacional. O Complexo Alcalino de Tunas, de idade campaniana, localiza-se a aproximadamente 80km a norte de Curitiba, abrange a cidades de Tunas do Paraná e Cerro Azul, totalizando área de aproximadamente 22,5 Km². É constituído por 5 chaminés de contorno subcircular, uma na porção sudeste de direção alongada para NE e as demais alongadas na direção NW. Como litotipos principais ocorrem sienito e sienito alcalino, secundariamente diorito, monzodiorito, gabro e monzogabro, brecha plutônica e diques de pequeno porte de traquito, microssienito e bostonito. Além disso, ocorrem brechas vulcânicas na porção NW e na porção central do maciço. Tunas faz parte de intrusões alcalinas do Cretáceo Superior associadas tectonicamente ao Lineamento São Jerônimo-Curiúva que integra a feição estrutural do Arco de Ponta Grossa. As rochas constituintes do Complexo Alcalino Tunas foram afetadas por estruturas rúpteis, particularmente falhas transcorrentes e normais, denotando a presença de tectônica ativa durante o Cenozoico. De um total de 398 medidas efetuadas em campo, 84 são sistema de fraturas NE-SE, 112 medidas do sistema N-S, 63 do sistema NW-SE, enquanto que 99 são do sistema de fraturas E-W. Em campo, as estruturas que mais se destacam são as E-W, seguidas das N-S. As estruturas NW-SE apesar de se perceber em imagens de sensoriamento remoto, não possuem expressividade em afloramento. As estruturas E-W apresentam-se como vales e cristas alinhadas. As estruturas N-S apresentam-se com forte cataclase associada e por vezes com presença de sigmoides métricos. A partir da devida caracterização dos sistemas de falhas, bem como a construção de um banco de dados de falhas acrescidos de dados de estrias, foi possível definir quatro eventos pós-cretáceos: distensão NE-SW e compressão NW-SE que geram as estruturas N-S e W-E dextrais. Antes desse segundo evento, há uma compressão NE-SW que forma as transcorrências sinistrais, anteriores às transcorrências dextrais (relação de sobreposição de estrias vista em campo). O terceiro evento é uma compressão N-S (Plio-Pleistoceno). Por fim, uma compressão aproximada ENE-WSW com distensão NNW-SSE seria responsável pela reativação de estruturas N30E com estrias impressas em caulinitas, portanto, a deformação mais nova encontrada na área, provavelmente neotectônica, compatível com o eixo de tensão máxima E-W no contexto de migração da Placa Sul-Americana para oeste, de encontro com a placa de Nazca.

Palavras-chave: Complexo Alcalino de Tunas, falhas transcorrentes rúpteis, Lineamento São Jerônimo-Curiúva, Tectônica pós-cretácea, *Rift* Cenozoico do Sudeste do Brasil.

ABSTRACT

The research recognized and characterized the brittle structures that occur in Tunas Alkaline Complex, such as joints and faults, and correlated the tectonics that generated these structures with the post-Cretaceous deformation events. From a comparative analysis, it sought also estimates the maximum age of these deformational events, as well as the main axes of paleo-stresses acting on each deformational event. The Tunas Alkaline Complex, Campanian age, is located approximately 80 km north of Curitiba, that's in the Tunas do Paraná city and near of the Cerro Azul municipality, a total area of approximately 22.5 km². It consists for five sub-circular boundary pipes, one in the southeastern portion of elongated direction NE and the others elongated in the direction NW. The main rock types are syenite and syenite alkaline, and secondarily diorite, monzodiorite, gabbro and monzogabbro, plutonic breccias and small dykes of trachyte, micro-syenite and bostonite. Besides, there are volcanic breccias in the NW portion and the central portion of the massif. Tunas is part of alkaline intrusions of Upper Cretaceous, associated tectonically with the lineament St. Jerônimo-Curiúva, which one is integrated structural feature of Ponta Grossa Arch. The rocks of Tunas Alkaline Complex were affected by brittle structures, particularly slip and normal faults, indicating the presence of active tectonics during the Cenozoic. A total of 398 measurements made in the field, 84 are system NE-SE fractures, 112 measurements of the N-S system, 63 of the NW-SE system, while 99 are the E-W fractures system. In the field, the structures that stand out are the E-W, followed by N-S. The NW-SE structures, although perceiving in remote sensing images, have no expression in rock outcrops. The E-W structures are shown as aligned with valleys and ridges. The N-S structures demonstrate a strong cataclastic associated, and sometimes, with the presence of sigmoid metric. From the proper characterization of faults systems, as well as the construction of a database with faults and theirs slickensides, it was possible to define four post-Cretaceous events: NE-SW distension and NW-SE compression that generate N-S and W-E dextral structures. Before this second event, there is a NE-SW compression who originated the sinistral slip faults, prior to dextral slip (overlapping relationship of slickensides observed in field). The third event is a compression-N (Plio-Pleistocene). Finally, an approximate ENE-WSW compression with NNW-SSE distention would be responsible for the reactivation of N30E structures, with slickensides printed in kaolinites, therefore the newest deformation found in the area, probably neotectonics, compatible with the maximum axis stress W-E, in the migration context of the South American Plate to the west, while the Nazca Plate subducting under the South American Plate.

Keywords: Tunas Alkaline Complex, transcurrent faults, lineament St. Jerônimo-Curiúva, post-Cretaceous deformation events, Rift Cenozoic of Southeastern Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Condicionamento tectônico do Complexo Alcalino Tunas	18
Figura 2: Localização da área de estudo com o Complexo Alcalino Tunas	24
Figura 3: Foto aérea do Complexo Alcalino de Tunas na escala 1:70.000.	26
Figura 4: Modelo digital de elevação a partir do <i>Global Mapper</i>	27
Figura 5: Unidade morfoescultural	27
Figura 6: Mapa de Drenagens e localização do Complexo Alcalino Tunas na Bacia do rio Ribeira (PR).	28
Figura 7: Rio Ribeira e Capivari no contexto da bacia Ribeira.	29
Figura 8: Mapa geotectônico da região Sudeste e adjacências.	36
Figura 9: Contexto das rochas ígneas no Estado do Paraná	37
Figura 10: Complexo Alcalino Tunas em relação ao Escudo Paranaense.....	38
Figura 11: Esboço geológico onde o Complexo Alcalino Tunas.....	42
Figura 12: Mapa Geológico do Complexo Alcalino de Tunas.....	43
Figura 13: Mapa de lineamentos Aster regional traçados em escala fixada em 1:100.000	48
Figura 14: Mapa de lineamentos ASTER local (Tunas) na escala 1:50.000	49
Figura 15: Mapa topográfico e lineamentos de drenagem do Complexo Alcalino Tunas na escala 1:50.000	50
Figura 16: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:50.000 regional por frequência.....	51
Figura 17: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:50.000 regional por comprimento.....	51
Figura 18: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:100.000 regional por frequência.....	52
Figura 19: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:100.000 regional por comprimento, população 654	53
Figura 20: Diagrama de rosetas representando lineamentos ASTER 1:50.000 por frequência do Complexo Alcalino Tunas.....	54
Figura 21: Diagrama de rosetas representando lineamentos ASTER 1:50.000 por comprimento do Complexo Alcalino Tunas.....	54
Figura 22: Diagrama de roseta para lineamentos de drenagem na escala 1:50.000 por frequência.....	55
Figura 23: Diagrama de rosetas para os lineamentos de drenagem de 1. ^a ordem com comprimentos menores que 250m.....	56
Figura 24: Diagrama de rosetas para os lineamentos de drenagem de 2. ^a ordem com comprimento compreendido entre 251 e 500m	56
Figura 25: Diagrama de rosetas para os lineamentos de drenagem de 3. ^a ordem com comprimento superior a 500m.....	57
Figura 26: Mapa de Interpretação Magnética-Estrutural a partir do mapa ISA_GHT na escala 1:440.000. No centro da imagem, em rosa com contorno preto, localiza-se o Complexo Alcalino Tunas.....	57
Figura 27: Mapa de lineamentos ISA_GHT e interpretação magnético-estrutural na escala 1:50.000.....	58
Figura 28: Mapa de pontos e lineamentos ISA_GHT do Complexo Alcalino Tunas escala 1:50.000.....	59
Figura 29: Roseta para lineamentos ISA-GHT por comprimento	60
Figura 30 Roseta para lineamentos ISA-GHT por frequência.	60
Figura 31: Mapa de Lineamentos Fotointerpretados na escala 1:70.000.	61
Figura 32: Roseta lineamento fotointerpretado comprimento.....	62
Figura 33: Roseta lineamento fotointerpretado por frequência.....	62
Figura 34: Diagramas para todas as falhas normais: a) diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior; b) diagrama de rosetas.....	63

Figura 35: Diagramas para todas as transcorrências sinistras: a) diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior; b) diagrama de rosetas	64
Figura 36: Diagramas para todas as transcorrências destrais: a) diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior; b) diagrama de rosetas.....	64
Figura 37: a) Dique de provável traquito de direção N35E. b) Preenchimento de 2cm de espessura aparente. Plano de falha N46E/88SE com silicificação associada.	66
Figura 38: Aspecto da rocha fortemente intemperizada no plano N15W/75SW associado ao plano principal da estrutura em flor de direção N64E/45SE.	67
Figura 39: Estrutura em flor do ponto TFS018 com predominância do lado NW, N73W/85NE. 68	
Figura 40: a) Plano de direção N60E tido como principal, com preenchimento de sílica amorfa cinza escuro com movimentação lateral esquerda dada pela relação das fraturas R e Y. b) Deslocamento lateral esquerdo da estrutura de direção N60E (Y) dado pela relação entre R e Y.	69
Figura 41: Estrutura em colher do plano Y com indicação de movimentação lateral esquerda. 69	
Figura 42: Plano sinistral da estrutura N60E/80NW com sigmoide indicando cinemática sinistral.	70
Figura 43: a) Presença de epidoto fraturado em plano de falha da estrutura em flor de direção principal N60E. b) Plano irregular de direção N60E, aspecto entre fraturas Y e R. As fraturas R são as que formam um ângulo que aparenta mergulhar para dentro da estrutura Y principal. . 71	
Figura 44: Plano de falha NS com zona de dano de aproximadamente 10cm e forte cataclase associada, vista em perfil.	72
Figura 45: Sigmoide métrico que marca a falha de atitude NS/85NW	72
Figura 46: a) Dique de provável traquito cortado pela estrutura Y com movimentação lateral direita. A relação de movimentação é dada pela fraturas orientadas segundo a caderneta, vista em planta. b) Presença de estria subhorizontal no plano R impressas no argilomineral branco, vista em perfil.	73
Figura 47: a) Fraturas com espaçamento centimétrico a milimétrico e preenchida por óxidos de Fe e Mn, vista em perfil; b) aspecto da falha NS no ponto TFS008, vista em perfil.....	74
Figura 48: Falha NS que desloca vênulas de material preto (pseudotaquilito) com sentido lateral esquerdo, vista em planta.	75
Figura 49: Estrutura N20W preenchida.....	76
Figura 50: Aspecto do plano NW-SE no ponto TFS017.	77
Figura 51: Falha NW-SE que marca o contato norte do Complexo Alcalino Tunas.....	77
Figura 52: Diagrama de eixo de paleotensão para as conjugadas N48E/85SE(R) e N55W/80SW (R') do plano principal Y N60E/85SE. Notar eixo de compressão máxima aproximadamente EW.....	78
Figura 53: a) Relação em perfil das estruturas N40W/80NE e N1E/75NW. Tratam-se de estruturas conjugadas visualizadas no TFS021. b) Relação em planta entre as estruturas N40W/89SW (230/89) e NS-70W (270/70) do ponto TFS021.	78
Figura 54: Crista de direção E-W	79
Figura 55: Plano de cisalhamento com atitude N65E/80NW do ponto TFS021, onde foi retirado a amostra para caracterização química e estrutural dos óxidos que preenchem a falha, vista em perfil	80
Figura 56: a) e b) Zona de cisalhamento de direção aproximadamente E-W com presença de zona de dano de 70cm de largura.....	81
Figura 57: Aspecto do plano N60-WE em afloramento TFS012. Notar espelho de falha retilíneo e rugoso.....	82
Figura 58: Detalhe de estrias verticais em plano E-W impressas em caulita, vista em perfil	82
Figura 59: Estrutura de direção N65W com cinemática destal, vista em planta	83
Figura 60: a) Ressaltos falsos (fraturas R) no plano N60W associado à estrutura E-W, vista em perfil. b) Fraturas R em planta no plano E-W, vista em planta	84
Figura 61: Marca em crescente em perfil, no plano E-W, indicando movimentação lateral esquerda.....	84

Figura 62: Família E-W: sigmoide com cinemática lateral esquerda, vista em planta	85
Figura 63 Estrias (linhas retas em cinza claro) impressas em caulinita na amostra TFS012	86
Figura 64: Estrias impressas em caulinita na amostra TFS012, notar fraturas secundárias configurando movimentação lateral direita.	86
Figura 65: Notar <i>gash</i> indicativo de movimentação lateral direita em amostra TFS012. Aumento de 250x.....	87
Figura 66: Notar <i>gash</i> indicativo de movimentação lateral direita em amostra TFS012. Aumento de 500x.....	87
Figura 67: Difratoograma para a amostra TFS012 após tratamento, revelando se tratar de caulinita	88
Figura 68: Difratoograma da amostra TFS019 após tratamento.	89
Figura 69: Difratoograma da amostra TFS021 após tratamento com presença de caulinita e illita.	89
Figura 70: Critérios cinemáticos ao longo de uma falha dextral.Fonte: Petit 1987 in Fossen, 2012.....	90
Figura 71: Critérios cinemáticos ao longo de uma falha dextral.Fonte: Petit 1987 in Fossen, 2012.....	90
Figura 72:a) Diagrama para todas as normais; b)Diagrama para as normais do ponto TFS012	92
Figura 73: Todas as transcorrências sinistrais e ao lado todas as sinistrais com Ls	92
Figura 74: Falhas dextrais com eixo de paleotensão indicativo de distensão NNE-SSW.....	93
Figura 75: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas normais da família WE	93
Figura 76: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas dextrais da família EW	94
Figura 77: Diagrama de eixo de paleotensão para as transcorrências lateral esquerda da família E-W	94
Figura 78: Diagrama de eixo de paleotensão para falhas normais da família N30W-60W.....	95
Figura 79: a) Lateral direito família NW-SE e b) estruturas conjugadas N40W/89SW (230/89), NS-70W (270/70) do ponto TFS021.....	95
Figura 80: Ponto 1 para transcorrências sinistral do sistema N30W-60W; b) Falhas transcorrentes sinistrais do ponto TFS001 (família N40-60W)	95
Figura 81: Diagrama de paleotensão para a família N30E-60E normais.	96
Figura 82: Diagrama de eixo de paleotensão para as transcorrências laterais direitas da família N30E.....	96
Figura 83: Diagrama de eixo de paleotensão para as transcorrências laterais esquerdas da família N30-N60E	97
Figura 84: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas N-S.	97
Figura 85: Diagrama de paleotensão para as falhas transcorrentes dextrais a família NS.....	98
Figura 86:Diagrama de paleotensão para as falhas transcorrentes sinistrais a família NS	98
Figura 87: a)Diagrama das falhas N50E sinistrais com N52W/86NE.b) falha inversa do ponto TFS014 que ocorre nas rochas metassedimentares da Fm. Votuverava. Essa falha aproveitou o plano da foliação e foi reativada com componente inversa. c) Falhas conjugadas da estrutura em flor 30/80 (N60W/80NE)e 340/80 (N70E/80NW); d) conjugadas Y e R. A Y é a estrutura retilínea 185/75 (N85W/75SW) que forma conjugada com R 155/75 (N65E/75SE)	99
Figura 88: Diagrama de paleotensão para as falhas do ponto TFS012	99
Figura 89: Diagrama de paleotensão para as falhas do ponto TFS012	100
Figura 90: Diagrama de eixo de paleotensão indicando compressão N-S.....	100
Figura 91: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas do ponto TFS014 indicando compressão aproximada N-S.....	100
Figura 92: Diagrama de paleotensão indicando compressão aproximada N-S	101
Figura 93: Distensão aproximada NW-SE para as falhas do ponto TFS017 e TFS018.....	101
Figura 94: Diagrama de paleotensão para as estruturas do ponto TFS020.....	102
Figura 95: Diagrama de eixo de paleotensão para as estruturas do ponto TFS020	102
Figura 96: Diagrama de eixos de paleotensão para as falhas do ponto TFS022.....	102

Figura 97: Mapas gamaespectrométricos do Complexo Alcalino Tunas. Contagem Total (a), Mapa do K (b), Mapa do eTh (c), Mapa do eU (d), Mapa ternário(e) e MDE (f).....	106
Figura 98: Mapa ternário do Complexo Alcalino Tunas.	107
Figura 99: Localização da área do Complexo Alcalino Tunas (em verde) que dista de Curitiba aproximadamente 80Km, deslocando-se pela estrada da Ribeira (BR-476) que corta a área no sentido N-S.....	111
Figura 100: Mapa Geológico-Estrutural do Complexo Alcalino Tunas com lineamentos 1:100.000. Modificado e adaptado de Baeta (2004 <i>in</i> Xavier). Inclusão dos Lineamentos 1:100.000.....	114
Figura 101: a) Roseta para lineamentos fotointerpretados por frequência, n= 336; b) Roseta para lineamentos ISA-GHT por frequência, n=52;c) Roseta para lineamentos de drenagem por frequência, n=638; d) Roseta para lineamentos de drenagem maiores que 500m, n=164	116
Figura 102: a) Diagrama de roseta para todas as falhas normais; b) Diagrama de rosetas para todas as falhas sinistrais; c) Diagrama de rosetas para todas as falhas destrais	117
Figura 103:a) Geometria sigmoidal (vista em planta) do plano de direção N60E preenchido por pseudotaquilito; b) Estrias oblíquas impressas em caulinita, plano de direção N60E, vista em perfil; c) Plano de direção N60E preenchido por silexito, vista em perfil.	118
Figura 104: a) Sigmoide métrico em falha de direção N-S; b) Traço de falha N-S em perfil com zona de dano de aproximadamente 10cm; c) Traço de falha N-S em perfil com cominuição de rocha em zona de falha.....	118
Figura 105: a) Zona de cisalhamento de direção E-W vista em planta, zona de dano de aproximadamente 70cm; b) Estrutura em flor de dimensão centimétrica.....	119
Figura 106: Diagrama de paleotensão para as falhas sinistrais E-W e destrais N-S; b) Falhas E-W sinistrais; c) Falhas N-S destrais.	120
Figura 107: a) Diagrama de paleotensão com compressão N-S (Plio-Pleistoceno) com extensão aproximadamente E-W; b) Compressão aproximadamente N-S para as falhas NE-SW sinistrais.	120
Figura 108: a) Diagrama de paleotensão a partir da compressão NW-SE, b) Falhas destrais E-W; c) Falhas sinistrais N-S.	120
Figura 109: Diagrama de paleotensão. Em a) Falhas N-S destrais; b) Falhas N30E destrais; c) Diagrama de paleotensão para falhas N-S destrais, N30E destrais, NW-SE sinistrais e E-W sinistrais resultando numa compressão aproximadamente E-W; d) Falhas NW-SE sinistrais; d) Falhas E-W sinistrais.....	120
Figura 110: Quadro de eventos neotectônicos pós- cenozoicos de acordo com diversos autores	124
Figura 111: Diagrama de paleotensão para as falhas EW sinistrais e NS destrais.	128
Figura 112:a) Dique NS, falhas antitéticas NE e sintéticas NW e ao lado. b) Idem ao a com sinistrais E-W.....	128
Figura 113:Diagrama para as falhas E-W destrais e N-S sinistrais.....	129
Figura 114: Diagrama de paleotensão para as falhas N30E destrais, NS destrais, sinistrais e normais E-W e estruturas NW-SE sinistrais	129
Figura 115: Quadro de eventos neotectônicos pós- cenozoicos de acordo com diversos autores.....	131
Figura 116: Figura esquemática multi-escala	132

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Coordenadas do polígono da área de estudo.....	24
Tabela 2: Diagramas de paleotensão para os diferentes sistemas de falhas encontrados no Complexo Alcalino Tunas.....	123
Quadro 1: Quadro de fases tectônicas cenozoicas no Sudeste do Brasil segundo diferentes autores e regiões.....	22
Quadro 2: Sumarização dos mapas de lineamentos traçados e principais atributos	47
Quadro 3: Diagramas de paleotensão para os diferentes sistemas de falhas encontrados no Complexo Alcalino Tunas.....	130

APRESENTAÇÃO

A estrutura dessa dissertação é dividida em 07 capítulos, de acordo com o sumário abaixo.

O Capítulo 1, denominado **"INTRODUÇÃO"**, são apresentados os objetivos, a localização do Complexo Alcalino Tunas, bem como a descrição geral dos métodos utilizados.

O Capítulo 2, denominado **"CONTEXTO GEOLÓGICO"**, contempla breve revisão dos conhecimentos tectônicos dos arredores do Complexo Alcalino de Tunas, Geologia Regional e breve revisão dos conhecimentos do Complexo Alcalino de Tunas.

O Capítulo 3, denominado **"ANÁLISE ESTRUTURAL"**, aborda aspectos da Estrutural em macroescala, mesoescala e microescala.

O Capítulo 4, denominado **"ANÁLISE DE PALEOTENSÕES"**, aborda a análise dinâmica dos dados estruturais.

O Capítulo 5, denominado **"GAMAESPECTROMETRIA"**, refere-se a aspectos gamaespectrométricos do maciço Tunas.

O Capítulo 6, denominado **"ARTIGO CIENTÍFICO"** refere-se ao corpo principal desta dissertação e apresenta breve revisão dos conhecimentos tectônicos da região de estudo, o desenvolvimento do trabalho, resultados e discussões e referências bibliográficas, na forma de artigo intitulado: *"Tectônica rúptil pós-cretácica do Complexo Alcalino Tunas"*.

O capítulo 7, denominado **"CONSIDERAÇÕES FINAIS"** refere-se à parte final do trabalho.

Por fim, apresenta-se **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** e **ANEXOS**.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
1.2	ABORDAGEM DA PESQUISA	16
1.2.1	Neotectônica da região Sul e Sudeste do Brasil	19
1.3	LOCALIZAÇÃO	23
1.4	COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	24
1.5	ASPECTOS HIDROGRÁFICOS	28
1.6	OBJETIVOS	29
1.7	MATERIAIS E MÉTODOS	30
1.7.1	Materiais	30
1.7.2	Métodos	31
2	CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOLOGIA REGIONAL	35
2.1	CONTEXTO GEOLÓGICO	35
2.2	GEOLOGIA REGIONAL	39
2.3	COMPLEXO ALCALINO TUNAS	43
3	ANÁLISE ESTRUTURAL	46
3.1	TECTÔNICA RÚPTIL NO COMPLEXO ALCALINO TUNAS	46
3.2	ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS REGIONAIS	51
3.3	ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS LOCAIS	53
3.4	ANÁLISE ESTRUTURAL DAS MORFOESTRUTURAS DE DRENAGEM	54
3.5	ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS GEOFÍSICOS INTERPRETADOS ISA_GHT	57
3.6	ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS FOTOINTERPRETADOS	60
3.7	ANÁLISE ESTRUTURAL EM MESOESCALA	62
3.7.1	Falhas normais	63
3.7.2	Falhas transcorrentes sinistrais	63
3.7.3	Falhas transcorrentes destrais	64
3.7.4	Sistema de fraturas NE-SW: Família N30-60E	64
3.7.5	Sistema De Fraturas N-S: Família N30E-30W	71
3.7.6	Sistema de Fraturas NW-SW: Família N30-60W	76
3.7.7	Sistema de Fraturas E-W: Família N60-90E E N60-90W	79
3.8	INDICADORES CINEMÁTICOS	85
3.9	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA: ESPECTROMETRIA DE RAIOS-X	88
4	ANÁLISE DE PALEOTENSÕES	89
4.1	ANÁLISE DINÂMICA: APRESENTAÇÃO DOS DADOS CALCULADOS	91
4.2	RESULTADOS SEPARADOS POR SISTEMA DE FRATURAS	93

4.2.1	Sistema de fraturas E-W: famílias N60-90E e N60-90W	93
4.2.2	Sistema de Fraturas NW-SE: Família N30-60W	94
4.2.3	Sistema de Fraturas NE-SW: Família N30E-60E	96
4.2.4	Sistema de Fraturas N-S: Família N30E-30W	97
4.2.5	Conjugadas	98
4.2.6	Apresentação dos resultados por pedreiras.....	99
5	GAMAESPECTROMETRIA	103
5.1	Potássio (%)	104
5.2	eU e eTh (ppm)	104
6	ARTIGO CIENTÍFICO (Tectônica pós-cretácica do Complexo Alcalino Tunas-PR). 109	
6.1	INTRODUÇÃO	110
6.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	110
6.2.1	Localização.....	110
6.2.2	Arcabouço geológico e tectônico	111
6.2.3	Complexo Alcalino Tunas.....	112
6.3	MATERIAIS E MÉTODOS	115
6.4	RESULTADOS	116
6.4.1	Análise dos lineamentos por sensoriamento remoto	116
6.4.2	Geometria e cinemática das falhas	117
6.4.3	Análise dinâmica das falhas.....	119
6.5	DISCUSSÃO	121
6.6	CONCLUSÕES	122
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
	REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO	133
	ANEXOS	140

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente estudo desenvolveu-se no âmbito do Projeto "Tectônica cenozoica do sul do Brasil", entre setembro de 2014 e agosto de 2016 que é financiado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Foram reconhecidas e caracterizadas as estruturas rúpteis que ocorrem no Complexo Alcalino Tunas, tais como juntas e falhas, buscando-se correlacionar a tectônica que as geraram a eventos de deformação pós-cretácicos. A partir de uma análise comparativa, buscou-se igualmente estimar a idade máxima desses eventos de deformação, bem como os eixos principais de paleotensão atuantes em cada evento deformacional.

O complexo alcalino em questão está posicionado no Cretáceo Superior (Siga Jr. *et al.*, 2007-a), após o início do Campaniano. Portanto, a deformação nele impressa apresenta como idade máxima o Paleógeno, podendo eventualmente estar ligada a eventos neogênicos, ou seja, neotectônicos. O complexo é constituído por litotipos relativamente homogêneos, de tal modo que apresenta, portanto, assembleia mineralógica, petrografia e reologia consideradas adequadas para o estudo de deformações rúpteis.

Há uma lacuna no conhecimento referente ao quadro tectono-estrutural do escudo paranaense, em especial no que se refere à tectônica rúptil, ou de natureza rígida. Dessa forma, pretende-se que o arcabouço tectônico levantado a partir do presente estudo, contribua com sínteses e interpretações a respeito da deformação rúptil regional pós-cretácica da região sudeste brasileira.

1.2 ABORDAGEM DA PESQUISA

Não se pode falar de rochas alcalinas no sudeste do Brasil sem antes mencionar as grandes estruturas tectônicas formadas quando do evento de abertura do oceano Atlântico. Nesse sentido, a evolução da plataforma

Sulamericana, ao longo do Fanerozoico, se processou a partir de quatro grandes etapas (Almeida, 1967). A última etapa, mais importante para este estudo, é caracterizada por processos diástróficos a partir do Jurássico (Almeida, 1967), com consequente magmatismo alcalino associado. Foi denominada inicialmente de reativação Wealdeniana (Almeida, 1967) ou Ativação Meso-Cenozoica (Zalán, 2004) que se mostrou controlada pela herança tectônica brasileira do embasamento, e reativou antigas falhas, com formação de blocos, soerguimentos de arcos, abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná (Almeida, 1983).

Com isso, as áreas que experimentaram soerguimento durante a atividade tectônica relacionada à abertura do proto-Atlântico, a exemplo do Arco de Ponta Grossa, estão marcadas pela presença de diques, soleiras e ampla suíte de intrusões alcalinas (e.g. Piccirilo *et al.* 1990 *in* Bizzi & Vidotti, 2003).

Para Bizzi & Vidotti (2003), grande parte do magmatismo alcalino pós-Paleozoico do Brasil ocorreu de forma contemporânea às mudanças de direção de movimento das placas litosféricas. De tal modo que houve reativação de zonas de cisalhamento litosférico e rifteamento intraplaca.

As rochas alcalinas, no estado do Paraná, foram descritas pioneiramente Leinz (1935 *in* Maack, 1947) e Maack (1961) que reconheceu os paisanitos sob forma de diques de direção preferencial N50W. Nas proximidades de Tunas, as rochas alcalinas foram reconhecidas como sienito alcalino com presença de aegirina e arfvedsonita (Maack, 1947). O Complexo Alcalino Tunas (Vasconcellos & Gomes, 1992) está tectonicamente associado ao Lineamento São Jerônimo-Curiúva (Ferreira & Algarte, 1979; Ferreira, 1982; Siga Jr. *et al.* 2007-a) e faz parte da Província do Arco de Ponta Grossa no sentido dado por Almeida (1983). Tal lineamento possui orientação NW-SE, ativo desde o Paleozoico, e respondeu pela formação de fraturas tensionais de direção NW-SE em níveis supracrustais, que foram preenchidas por rochas basálticas toleíticas, configurando denso enxame de diques de direção geral N45W. Entre o Aptiano e o Eoceno cessou o vulcanismo basáltico, porém os lineamentos continuaram ativos, resultando numa configuração linear dos corpos alcalinos nas proximidades do Alinhamento São Jerônimo-Curiúva. Ou seja, as

pulsações magmáticas foram claramente controladas pelo referido alinhamento, de tal modo que os maciços alcalinos Tunas, Ribeirão da Ilha, Mato Preto, Barra do Rio Ponta Grossa, Sete Quedas, Barra do Teixeira e Banhadão estão inseridos nesse contexto (Ferreira & Algarte, 1979; Ferreira, 1982). No mapa da figura 01 é possível observar que os corpos alcalinos se alinham segundo a direção NW paralelos aos grandes alinhamentos (Siga Jr. *et al.* 2007-a).

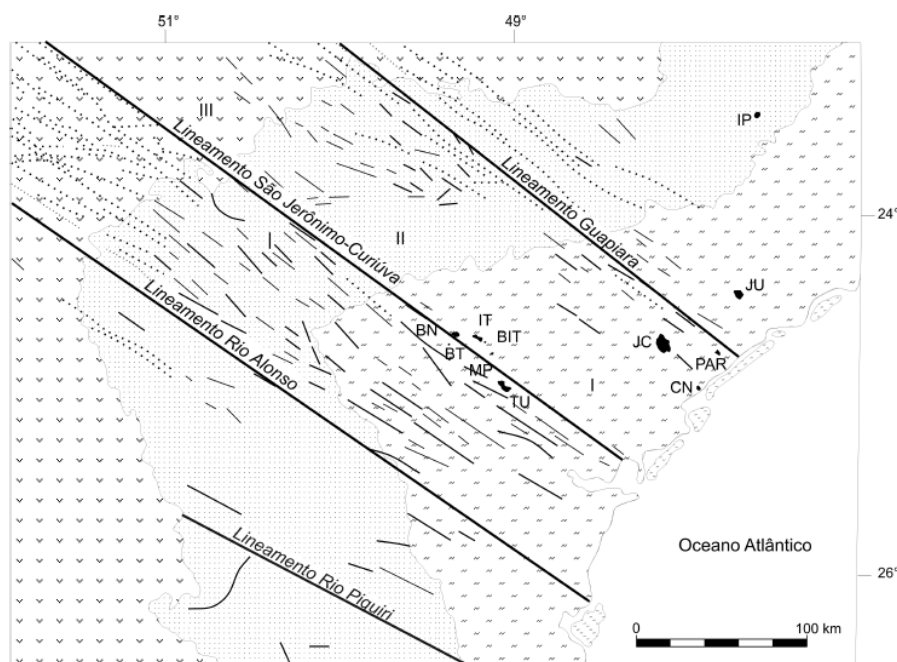


Figura 1: Condicionamento tectônico do Complexo Alcalino Tunas balizado entre o Lineamento São Jerônimo-Curiúva a norte e Lineamento Rio Alonzo a sul

BIT = Barra do Itapirapuã, BN = Banhadão, BT = Barra do Teixeira, CN = Cananéia, IP = Ipanema, IT = Itapirapuã, JC = Jacupiranga, JU = Juiúá, MP = Mato Preto, PAR = Pariqueira-Açu, TU = Tunas. Outras representações: I = embasamento cristalino. Fonte: Siga Jr. *et al.*, 2007 (cf. Almeida, 1986; simplificado de Ruberti *et al.*, 2005).

De acordo com Riccomini (1989), as rochas alcalinas ocorrem, grosso modo, ao longo das bordas do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) cujos movimentos verticais associados deram origem às feições morfológicas e às bacias tectônicas (Riccomini, 1989; Riccomini *et al.*, 2004).

A evolução desse rifteamento está intrinsecamente ligada às falhas transcorrentes (evolução pós-brasiliana), uma vez que aquele processo se deu a partir da reativação de caráter normal das transcorrências (Riccomini, 1989), como a falha Cubatão-Além Paraíba-Lancinha que ocorre na área de estudo.

Na visão de muitos autores essa estrutura é o eixo principal de um

complexo sistema entrelaçado de zonas de cisalhamento transcorrentes (Campanha, 2002). Na região sudeste brasileira, o sistema mais evidente é de caráter transcorrente, predominantemente dextrógiro e de natureza rúptil a dúctil e representa uma estrutura que influenciou a compartimentação litoestrutural, estratigráfica e tectônica da região (Campanha, 2002).

Nesse quadro geológico, insere-se o Complexo Alcalino de Tunas, objeto de estudo dessa dissertação. Esse maciço abriga litotipos propícios para o estudo de deformações rúpteis ocorridas ao longo do Cenozoico.

1.2.1 Neotectônica da região Sul e Sudeste do Brasil

Em relação à tectônica propriamente dita, sabe-se que estruturas superimpostas nos corpos alcalinos são, possivelmente, alinhamentos relativamente novos. Assim, é importante abordar conceitos de deformação cenozoica, inclusive os neotectônicos. O termo neotectônica surgiu na literatura geológica para definir os movimentos da crosta ocorridos durante o Terciário Superior e o Quaternário que culminaram com a formação da topografia atual (Obruchev, 1948 *in* Salamuni, 1998).

Nessa linha, Salamuni (1998) revisou conceitualmente o termo e destaca o conceito de Sengör *et al.* (1982), ou seja, que o objeto de estudo da neotectônica é "relacionado aos movimentos relativos ao campo de tensão (*stress*) ou regime tectônico em vigor desde a última reorganização tectônica principal de grande escala".

Em termos de limite temporal, Salamuni (informação verbal) salienta que a escola brasileira tem aceito, de forma geral, que a neotectônica está ligada à atividades tectônicas ocorridas a partir do início do Neógeno.

Bigarella (1999) resume de forma simples e sucinta o surgimento da Serra do Mar a partir de movimentação e consequente "criação" de montanhas, sob forma de blocos, ora elevados e basculados e ora rebaixados, revelando assim, que houve tectônica cretácica e terciária subdivididas nos períodos Paleógeno e Neógeno.

A Plataforma Brasileira apresenta características típicas de tectônica intraplaca e de margem passiva, porém, em sua porção oeste, possui nítida influência da margem ativa andina. Nesse contexto, os esforços neotectônicos são dissipados em zonas de fraqueza e anisotropias que remontam idades pré-cambrianas (Saadi *et al.*, 2005). De um modo geral, a comunidade científica tem aceito o período neotectônico como o correspondente à última reorganização tectônica mais significativa (Pavlides, 1989 *in* Saadi *et al.*, 2005).

Nesse sentido, Saadi *et al.* (2005) fazem excelente estado da arte da neotectônica do Brasil, destacando a importância da Formação Barreiras no entendimento do quadro neotectônico brasileiro. Esse mesmo entendimento é tido por Suguio & Nogueira (1999), que enfatizam que a Formação Barreiras possui dimensões continentais e certamente deve ter testemunhado eventos geológicos continentais e mesmo globais durante o Neógeno, em especial os de tectônica ressurgente dados pela herança estrutural do embasamento (Suguio & Nogueira, 1999). Ademais, Saadi *et al.* (2005) ressaltam que recentemente houve envolvimento interdisciplinar como a geofísica, tectônica, sedimentologia, paleontologia, pedologia, entre outras áreas específicas das geociências. Disso decorre que o termo neotectônica deixou de ter apenas um enfoque morfotectônico, abraçando as demais disciplinas como ferramenta para melhor entendimento do complexo quadro geológico atual.

Nessa esfera, o trabalho de Ricommini (1989) foi de grande importância, ao estabelecer uma sequência de eventos no Cenozoico para o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, a qual serviu de referência para trabalhos como o de Salvador (1994), Salamuni (1998), Hiruma (1999), Roldan (2007), Silva & Mello (2011), Jacques (2013), Nummer *et al.* (2014), dentre outros.

Ricommini (1989) definiu seis fases principais de deformação para o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil. A primeira, no Paleógeno (Eoceno-Oligoceno) formou a depressão original a partir de esforços extensionais NNW-SSE. No Oligoceno-Mioceno, houve formação de transcorrências sinistrais de direção E-W, com extensão NW-SE e localmente compressão NE-SW. A quarta fase, possivelmente do Pleistoceno Superior foi formadora das transcorrências destrais E-W com compressão NW-SE. No Holoceno ocorreu extensão NW (WNW)-SE (ESE) que afetou depósitos de baixos terraços e, por

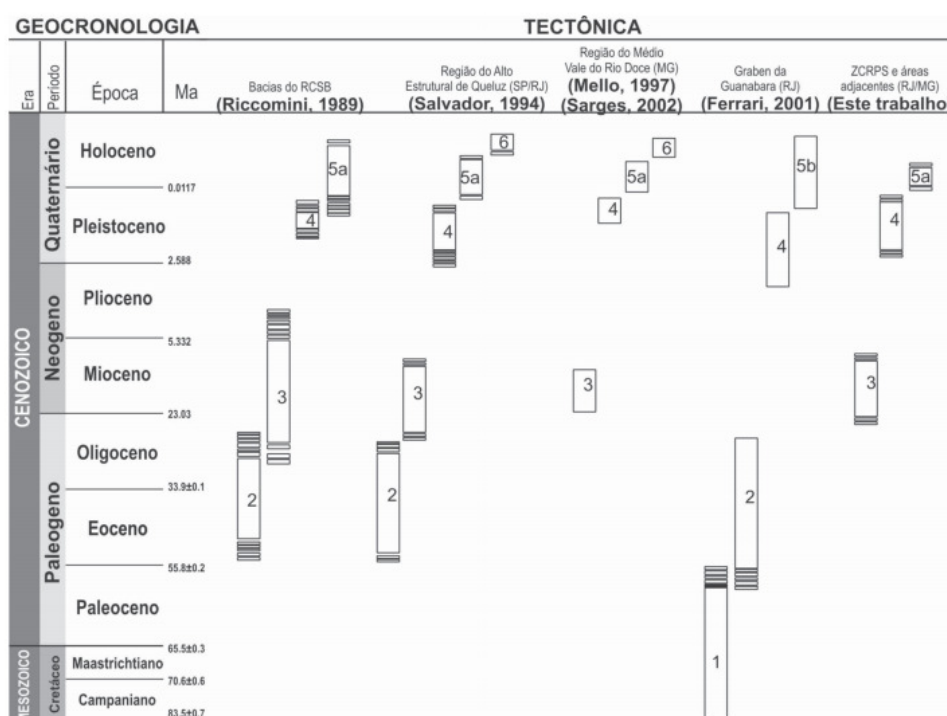
fim, campo de esforços indicando compressão E-W que geraram juntas conjugadas ENE e WNW. Esse campo de esforço, de acordo com o autor, perdura até hoje.

Salvador (1994) reconheceu na região do rio Paraíba do Sul, entre São Paulo e Rio de Janeiro, três fases de deformações neotectônicas: a primeira de idade pleistocênica, compressiva, com esforços orientados segundo NW-SE, associadas a um binário transcorrente dextral de direção E-W, a segunda de idade holocênica, distensiva, com esforços extensionais, com direções E-W (WNW-ESE) que geraram grábens de direção N-S e, a terceira, de idade holocênica, registrou esforços compressivos de direção E-W que geraram famílias de juntas conjugadas de direções ENE e WNW.

Salamuni (1998), a partir de evidências diretas e indiretas, concluiu que os processos tectônicos regionais, em nível de placa, foram responsáveis pela organização e pela evolução geológica da Bacia de Curitiba. O autor definiu dois eventos tectônicos principais: D1 com direção dos tensores distensivos EW e WNW-ESE que geraram falhas normais com atuação até o Mioceno e, eventos D2 e D2' que ocorreram ao longo do Mioceno, com mudança do regime tectônico regional, que mudou os tensores que passaram de distensivos para compressivos, com direção entre E-W e NW-SE, que geraram e reativaram falhas direcionais. A evolução do conjunto de grandes feições geológicas e geomorfológicas recentes do sul-sudeste brasileiro, de acordo com Salamuni (1998), têm sido ligada à fenômenos do Eoceno e/ou Oligoceno.

Hiruma (1999), ao estudar o Planalto de Campos do Jordão, porção sudoeste do bloco principal da Serra da Mantiqueira, definiu três regimes de esforços neotectônicos. Um de idade entre o Pleistoceno e Holoceno, mais antigo, caracterizado por regime compressivo (NW-SE) que seria responsável pela formação de falhas transcorrentes sinistrais NNW e dextrais ENE-WSW/WNW-ESE, seguido de distensão EW a NW-SE formadora das falhas normais de direção NE-SW, e, último evento dado por esforços compressivos E-W a NW-SE, compatível com o regime atual de esforços horizontais máximos.

Silva e Mello (2011) reconheceram três regimes neotectônicos: transcorrência sinistral E-W, de idade miocênica; transcorrência destal E-W, datada do limite Pleistoceno-Holoceno; e regime distensivo NW-SE, holocênico e enunciaram que tais fases neotectônicas têm forte relação com a reativação das anisotropias estruturais preexistente. Os autores fizeram quadro comparativo com alguns trabalhos, incluindo as fases por eles encontradas, conforme quadro 01.



Quadro 1: Quadro de fases tectônicas cenozoicas no Sudeste do Brasil segundo diferentes autores e regiões, incluindo as fases propostas no trabalho de Silva e Mello (2011). Modificado de Mello e Ferrari (2003 *in* Silva e Mello, 2011). 1. Transcorrência sinistral E-W; 2. Distensão NW(NNW)-SE(SSE); 3. Transcorrência sinistral E-W; 4. Transcorrência destal E-W; 5a. Distensão NW(WNW)-SE (ESE); 5b. Distensão E-W; 6. Compressão E-W.

Souza (2011), ao estudar o sistema de falhas cenozoicas ENE-WSW do entorno da Lagoa do Araruama (RJ), considerou essas falhas contemporâneas à Falha do Pai Vitório, limite sul do Gráben de São João, de idade eocênica. Caracterizou esse sistema de falhas com idade máxima de 52 a 56 M.a. A partir do cálculo de paleotensores, a autora deduziu três eventos deformacionais, sendo a fase mais antiga caracterizada por movimentos transcorrentes sinistrais e destrais com eixo de maior paleotensão orientado para WNW-ESE (transcorrência destal NE-SW) e NE-SW (transcorrência

sinistral E-W). A segunda fase representou uma evolução progressiva de uma distensão oblíqua destal NNW-SSE para uma distensão NNW-SSE. A terceira fase representou uma distensão ENE-WSW oblíqua destal formadora de falhas NW-SE.

Jacques (2013) avaliou as estruturas rúpteis da borda leste da Bacia do Paraná e caracterizou três eventos de deformação na Bacia do Paraná. O evento no Cretáceo Superior, com compressão N-S, afetou a Formação Serra Geral, um evento no Cretáceo Superior ao Terciário que afetou os três domínios, caracterizado por uma compressão NE-SW e, por fim, um evento compressivo, com esforço principal direcionado E-W. Os três eventos envolveram a geração de estruturas transcorrentes e podem ser explicados no contexto geodinâmico associado à ruptura do Gondwana e consequente rotação da placa Sul-Americana de leste para oeste e subducção na costa oeste da Placa Sul-Americana.

No trabalho de Nummer *et al.* (2014), a partir de análise integrada de diferentes sensores remotos, no leste do Planalto do Rio Grande do Sul, apresentaram, dentre outras considerações, os padrões estruturais que afetaram as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. São quatro as principais famílias, NE-SW a NNE-SSW, WNW-ESE a E-W, N-S e NW-SE que a partir da relação cronológica entre elas, sugeriram que as famílias NW-SE, com cinemática destal, são de idade eocretácea, as de idade neocretácea ao Paleógeno possuem direções N-S a NNE-SSW e cinemática destal e ENE-SSW a E-W cinemática sinistral, enquanto que um grupo mais novo com idade entre o Paleógeno e o Neógeno possuem direções NE-SW (destal) e NW-SE (sinistral).

1.3 LOCALIZAÇÃO

A região de estudo localiza-se a 80 km a norte de Curitiba (figura 02), abrange os municípios de Tunas e Cerro Azul, sendo o rio do Rocha o divisor entre os dois municípios. A BR-476, conhecida pelo nome de estrada da Ribeira, corta a área no sentido N-S. As coordenadas que definem o polígono da área em UTM, *datum* SAD-69-22S, são, conforme tabela 1:

Tabela 1: Coordenadas do polígono da área de estudo

X	Y
696.600	7.244.000
696.600	7.236.000
688.300	7.236.000
688.300	7.244.000

O complexo Alcalino de Tunas está inserido nas unidades pré-cambrianas paranaense, na região leste contemplada pela Carta Geológica de Itararé (SG.22-X-B), na escala 1:250.000 da Mineropar (2005).

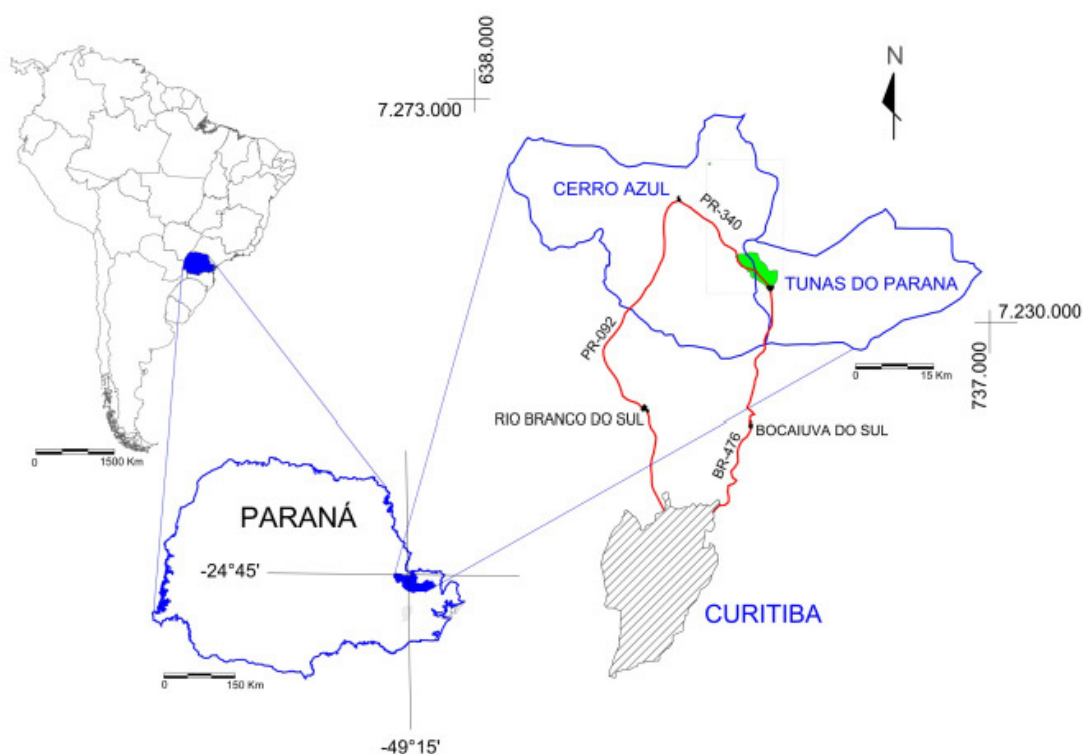


Figura 2: Localização da área de estudo com o Complexo Alcalino Tunas ,em verde, alongado segundo a direção NW

1.4 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A região abrangida pela folha de Itararé possui como unidades morfoestruturais o Cinturão Orogênico do Atlântico e a Bacia Sedimentar do Paraná e, como unidades morfoesculturais o Primeiro e Segundo Planalto Paranaense.

De acordo com dados da MINEROPAR (2006), o Complexo Alcalino de Tunas pertence à unidade morfoescultural denominada Planalto Dissecado de Tunas do Paraná, situada no Primeiro Planalto Paranaense. Há predomínio de alta dissecção, gradiente de 840 metros, com altitude mínima de 280m e máxima de 1.120m. Existe direção preferencial da morfologia para NW-SE e NE-SW, com topos alongados ou formando cristas, vertentes retilíneas e vales em “V” encaixados.

Hasui *et al.* (1980) mencionam que a região da Faixa de dobramentos Apiaí, onde se insere o presente trabalho, exhibe profundo nível de erosão, dado pela exposição de núcleos do embasamento pré-Açungui que ocorrem associados a culminâncias antiformais e a regiões mais alçadas de blocos de falhas.

Morfologicamente ocorrem cinco estruturas de contorno anelar de direção preferencial NW-SE, sendo a estrutura do extremo sudeste orientada de forma incipiente para NE-SW, conforme figura 03. As bordas dessas estruturas subvulcânicas são mais resistentes ao intemperismo em relação ao seu interior, o que indica natureza mais resistente da rocha ao redor da estrutura. Esta constatação é sugerida por Trein *et al.* (1967) que acrescentaram que fraturas circulares ou semi-circulares concêntricas determinaram aparecimento de vales e linhas de cristas igualmente concêntricas.

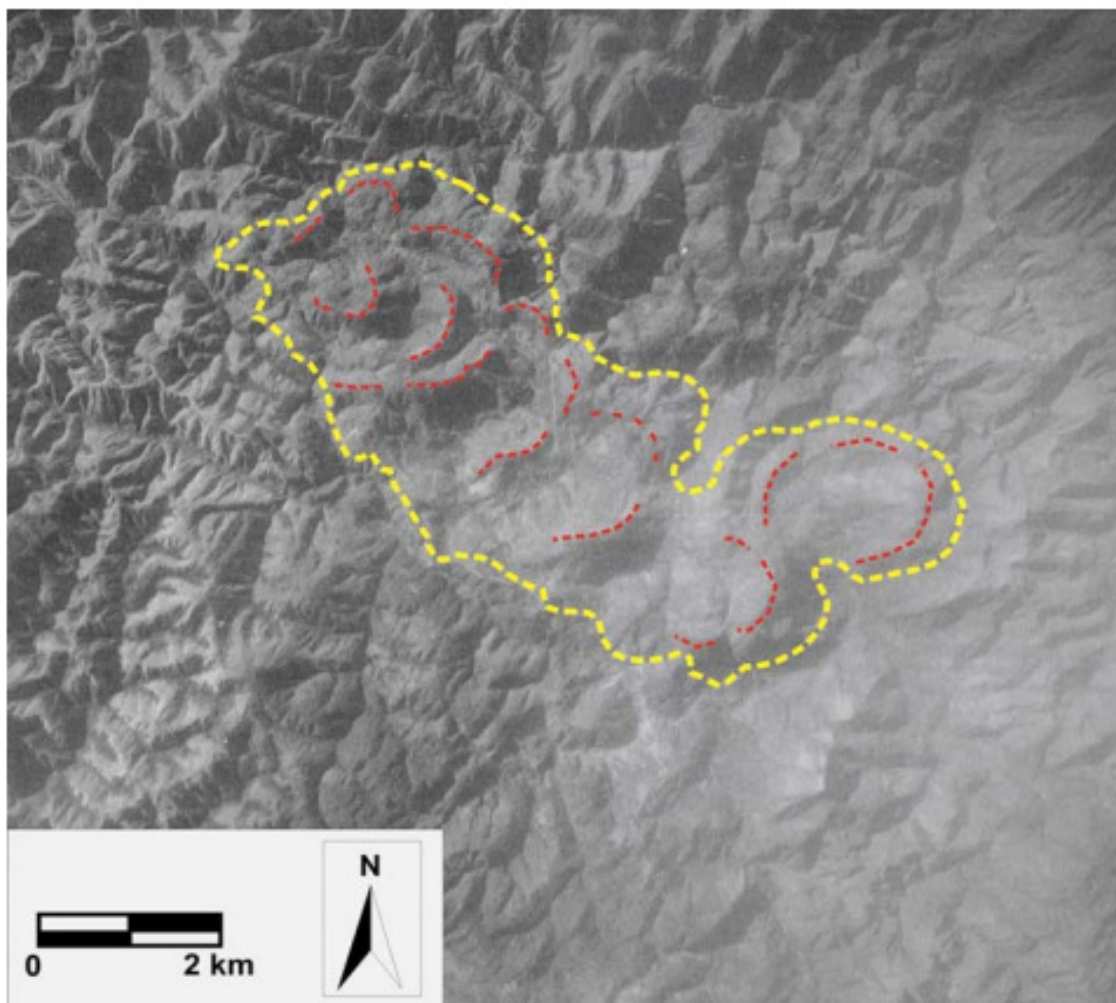


Figura 3: Foto aérea do Complexo Alcalino de Tunas na escala 1:70.000: em amarelo tracejado contorno do Complexo Alcalino Tunas e em tracejado vermelho as feições anelares que ocorrem maciço. Notar contraste marcante da intrusão em relação às rochas encaixantes.
Fonte: Baêta (2004).

Pelas relações dos lineamentos visto em fotografias aéreas, bem como outras imagens de sensoriamento remoto (figura 04), o Complexo Alcalino de Tunas está encaixado nas rochas do Grupo Açungui, porém, como observaram Trein *et al.* (1967), a intrusão sienítica não afetou, de forma considerável, a direção e mergulho das camadas encaixantes, bem como não produziu nenhum tipo de arqueamento nas rochas ao redor.

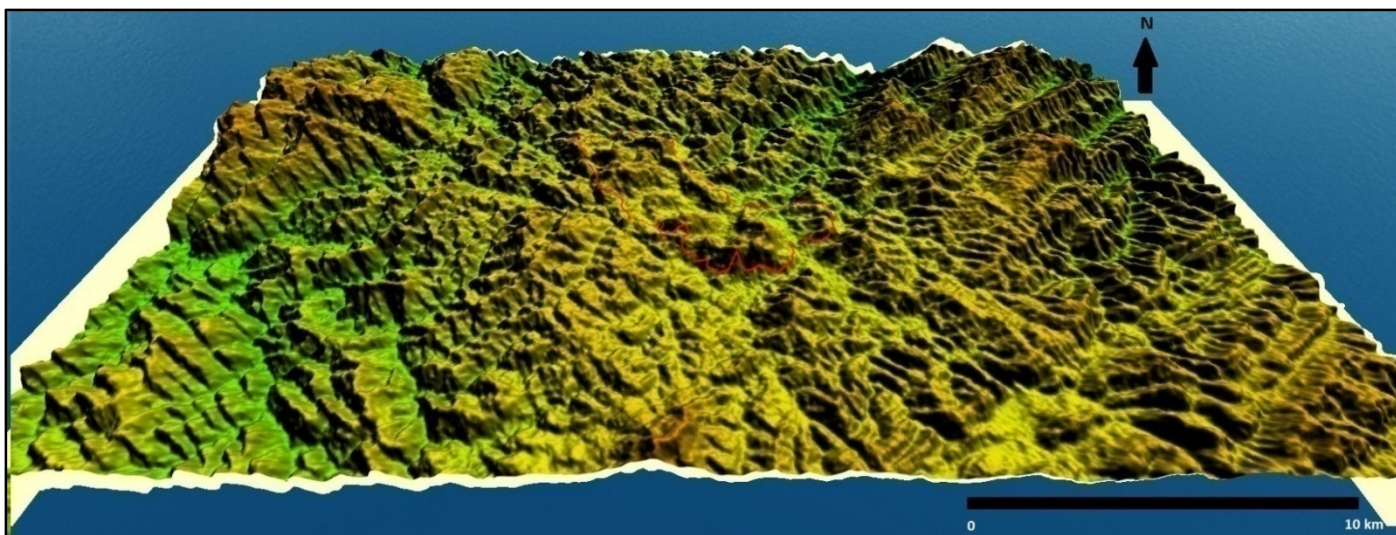


Figura 4: Modelo digital de elevação a partir do *Global Mapper*, em vermelho Complexo Alcalino Tunas.

A figura 05 mostra o aspecto morfoestrutural do Planalto Dissecado de Tunas nos arredores da área, com cristas e vales alinhados segundo NE-SW e NW-SE.



Figura 5: Unidade morfoescultural, em segundo plano, denominada Planalto Dissecado de Tunas do Paraná com morfologia para NW-SE e NE-SW

1.5 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS

O Complexo Alcalino de Tunas está inserido na Bacia do Ribeira que possui área total de 9.736 Km² e localiza-se na região norte do primeiro planalto paranaense, conforme figura 06. O rio Ribeira do Iguape possui 470km de extensão com 220km em território paranaense, nasce na vertente leste da serra de Paranapiacaba e possui como principais contribuintes os rios Piedade, Pardo, Turvo, Capivari e Açungui. Dos seus 470 km de extensão, 220 km estão em território paranaense (SEMA, 2010).

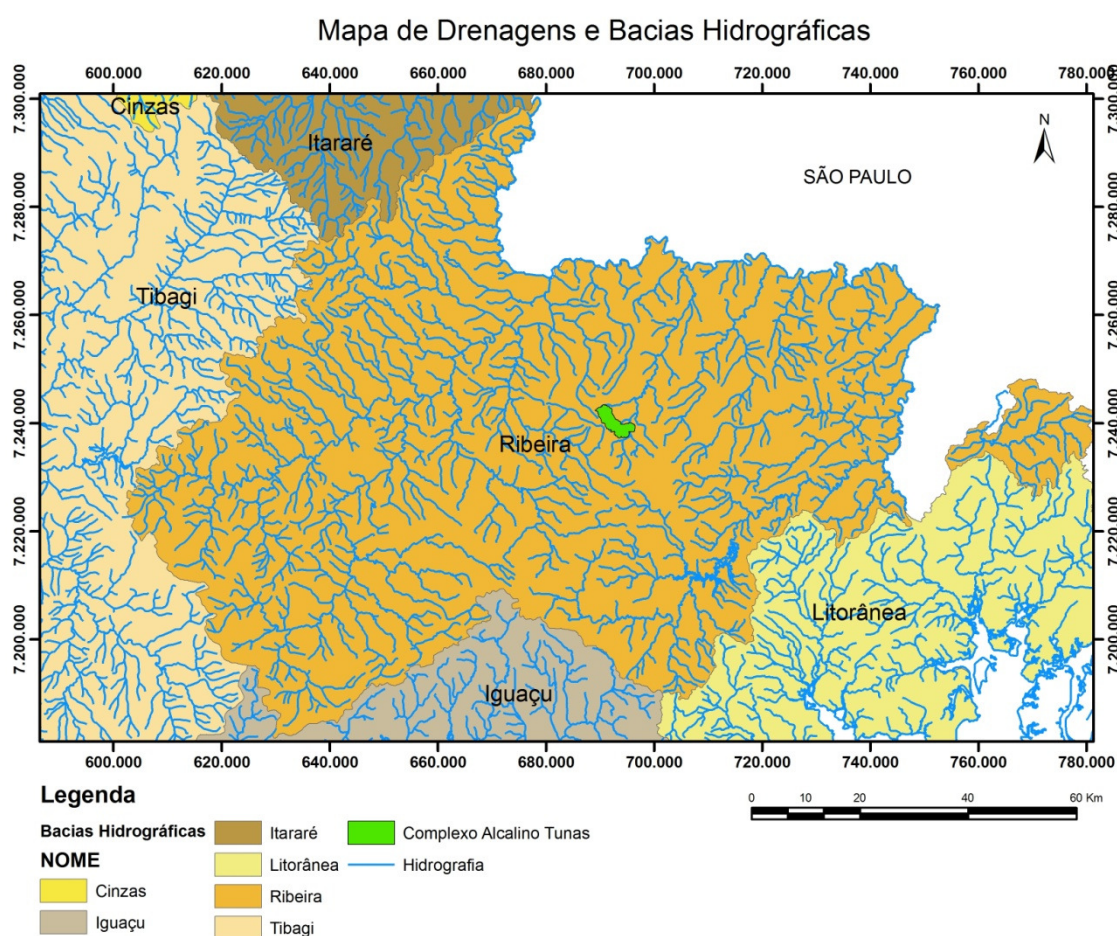


Figura 6: Mapa de Drenagens e localização do Complexo Alcalino Tunas na Bacia do rio Ribeira (PR).

A figura 07, extraída de SEMA (2010), apresenta mapa da bacia do rio Ribeira que mostra o rio homônimo e o rio Capivari, bem como as principais localidades.

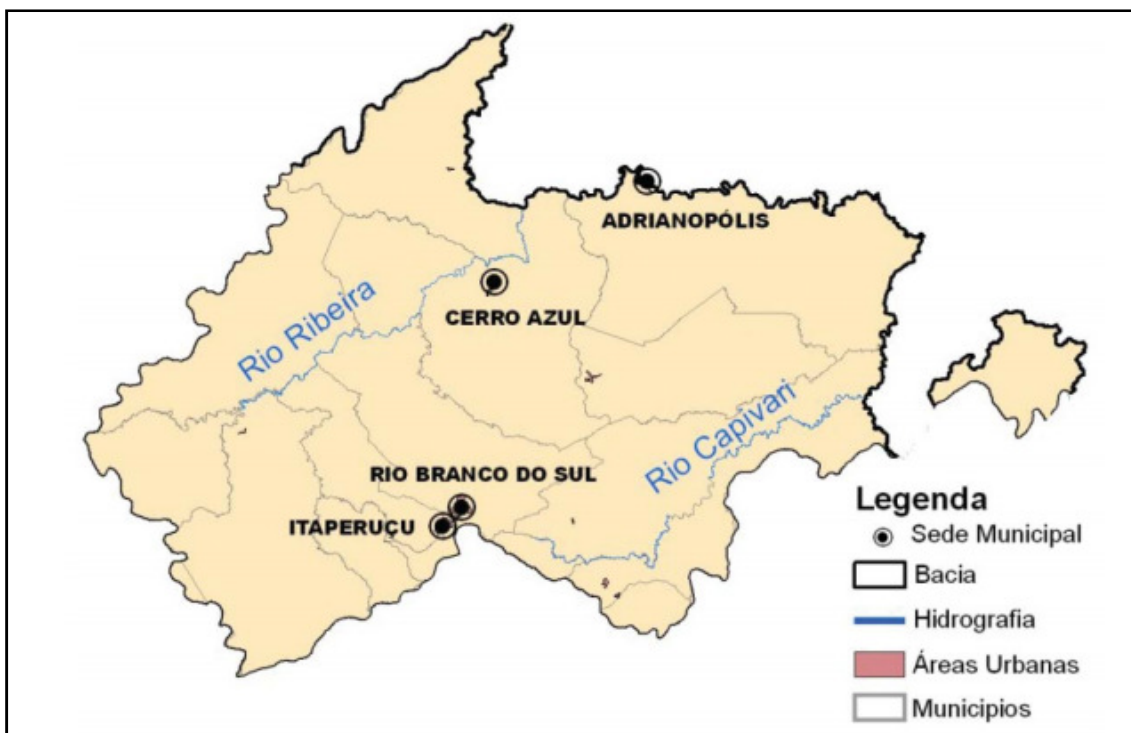


Figura 7: Rio Ribeira e Capivari no contexto da bacia Ribeira. Fonte: SEMA (2010).

1.6 OBJETIVOS

O objetivo principal é determinar e caracterizar o arcabouço estrutural rúptil, bem como a tectônica que provocou a deformação do Complexo Alcalino de Tunas. O objetivo secundário é validar a hipótese de que os eventos deformacionais rúpteis possam estar sob ação de processos neotectônicos, ou seja, tenham ocorrido a partir do início do Neógeno.

Para isso, alguns objetivos específicos e etapas de trabalho foram delineados, conforme seguem abaixo:

- análise estrutural para determinação da natureza das falhas e idade relativa e orientação dos tensores atuantes no Complexo Alcalino Tunas, após sua colocação;
- comparação de resultados com as conclusões propostas anteriormente por autores que estudaram o assunto.

1.7 MATERIAIS E MÉTODOS

De forma sucinta, serão discriminados os procedimentos para a confecção do arcabouço geológico-estrutural do Complexo Alcalino de Tunas na escala 1:70.000.

1.7.1 Materiais

- os mapas geológico-estruturais em multiescala providos da literatura foram os seguintes: Biondi (1983), CCGP (Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1970), MINEROPAR (2005), Macedo (1986), Melcher *et al.* (1973), Fassbinder (1990), Fassbinder *et al.* (1994), Fiori *et al.* (1998), Fuck (1972) e Vasconcellos (1991);
- dados geofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos do Projeto Aerogeofísico Paraná - Santa Catarina (CPRM, 2011);
- aerofotografias nas escalas 1:70.000 N.º 8922, 8924 (centro da área) e 8926 (Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A., 1963);
- imagens com estereoscopia ASTER-GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model*) com resolução de 30m (jspacesystems, 2011);
- *softwares* para tratamento de dados: *ArcMap* versão 9.3, *AutoCADMap* 3D 2010, *Global Mapper* 12, *RockWorks* 15, *Surfer* 12, *Oasis Montaj* 6.4.2. e *WinTensor* 5.8.3;
- Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com *energy dispersive x-ray detector* (EDS) e difratometria de raios-X.

1.7.2 Métodos

- a) Levantamento bibliográfico e cartográfico que englobaram a seguinte temática: trabalhos anteriores, geologia regional, métodos de análise estrutural, falhamentos pré-cambrianos e reativações, evolução da plataforma sulamericana, estudos a respeito da neotectônica no sudeste brasileiro, consulta a mapas geológicos em multiescala do Complexo Alcalino Tunas, bem como cartografia das falhas existentes na área;
- b) Na magnetometria, os valores anômalos do campo (CMA), ou seja, do campo magnético total reduzido do Campo Geomagnético Internacional de Referência (IGRF), foram calculados e, posteriormente, foi gerado uma grade (*grid*) para o polígono Tunas. Esse *grid*, após ajustada a expressão matemática geral para a escala de cores, foi utilizado como base para a aplicação das técnicas de realce magnetométricas. Os seguintes métodos foram utilizados para a análise qualitativa os dados magnéticos, com enfoque especial para o primeiro:
 - i. Inclinação do Sinal Analítico_Gridente Horizontal Total (ISA_GHT) conforme sugerido por Ferreira *et al.* (2010) e Ferreira *et al.* (2013);
 - ii. Gradiente Horizontal Total (GTH): delimita bordas dos corpos pelos máximos e marca os centros pelos mínimos;
 - iii. Inclinação do sinal analítico (ISA): Método que independe da profundidade e equaliza as máximas amplitudes e as posiciona diretamente no centro.
- c) Definição do arcabouço estrutural a partir de lineamentos traçados sobre imagem ASTER pelo programa *Global Mapper* 12 e salvas com iluminação a 45° e 315°, que ressaltam as morfoestruturas NW-SE e NE-SW. Posteriormente, essas imagens foram trabalhadas no *ArcMap* com escalas fixadas em

1:50.000 e 1:100.000 e foram criados *shapes* de lineamentos denominados de primeira e segunda ordem, respectivamente. Esses lineamentos foram traçados a partir das imagens ASTER com iluminação dos primeiros e quartos quadrantes. Tais *shapes* são importados pelo *AutoCADMap* 3D e salvos em formato *.dxf* para serem trabalhados no *software RockWorks* onde se geram rosetas por comprimento e por frequência;

- d) Na gamaespectrometria, os canais do banco de dados da CPRM (2011) utilizados para a confecção dos mapas gamaespectrométricos foram os de contagem total (CTEXP), nível médio do mar (MDT em m), Kperc (em %), equivalente em urânio (eU em ppm), e equivalente em tório, (eTh em ppm). Os resultados das medições foram plotados em mapas com gradações de cores (*color scale*), onde é possível visualizar as concentrações dos elementos K em porcentagem e eU e eTh em ppm bem como mapa ternário com modelo digital de elevação-SRTM sob o mapa para realçar a relação entre a topografia do terreno e a concentração nesses elementos radioquímicos. Tais mapas podem ser utilizados em estudos futuros.
- e) Utilização da ferramenta de expressões de cálculo "*easy calculate*" do *ArcMap*, que gera tabela de atributos com coordenadas X e Y e por azimuth para os lineamentos anteriormente traçados. Com os dados dessa tabela e em formato *.dxf*, foram gerados os diagramas de rosetas no *RockWorks* por frequência (azimuth) e por comprimento (coordenadas X e Y);
- f) Traçado de alinhamentos positivos e negativos na escala 1:70.000 (Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A., 1963) e confecção de mapa de alinhamentos na escala da fotografia aérea, georreferenciado em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). Após isso, foi digitalizado e georreferenciado o Complexo Alcalino de Tunas segundo o mapa

da Comissão da Carta Geológica do Paraná (1970) para composição, em ambiente SIG, de mapa geológico-estrutural na escala 1:70.000;

- g) Confecção de mapa de drenagens, a partir de base cartográfica da Companhia Paranaense de Energia, na escala 1:50.000 e traçado dos lineamentos. Após traçados os lineamentos, seguiu-se com os procedimentos mencionados no item "c" e criou-se diagramas de rosetas separadas por ordem. As rosetas de primeira ordem são os rios com menos de 250m de extensão, os de segunda ordem são os com comprimento entre 251m e 500m, enquanto que as rosetas de terceira ordem representam os rios com extensão superior a 500m. Os mapas resultantes serviram para análises de lineamentos e para a definição do arcabouço estrutural da área.
- h) Levantamento de dados estruturais rúpteis, bem como de dados dúcteis do entorno do Complexo Alcalino de Tunas por meio de quatro etapas de campo. Os pontos se concentraram nas bordas para verificar a relação da foliação do Grupo Açungui em reação ao Complexo Alcalino de Tunas e no interior do complexo, principalmente em frentes de lavra em função das boas exposições de planos de fraturas e falhas, facilitando, dessa forma, a caracterização das estruturas rúpteis;
- i) Análise estrutural geométrica e cinemática (Salamuni, 2014), a partir da caracterização e hierarquização de foliações, fraturas, juntas e falhas para posterior determinação de paleotensores atuantes sobre o Complexo Alcalino de Tunas. Adicionalmente, análise de indicadores cinemáticos a partir de critérios de Riedel e estruturas secundárias associadas (Petit, 1987; Fossen, 2012);
- j) Confecção de tabela com dados estruturais contendo o ponto, nome do ponto, UTM de cada ponto, localização, e subdivisão

das estruturas de acordo com o item h. Para a confecção dos diagramas de paleotensores foram utilizados apenas os dados pareados falha/estrias, plano de foliação reativado e falhas conjugadas. Sempre que possível, em campo foram caracterizadas as direções das falhas transcorrentes, se dextrais ou sinistrais e as demais falhas se normais ou inversas. Para as falhas direcionais (transcorrentes), quando possível, em campo, foi verificado se eram transpressivas ou transtrativas (Dehler & Machado, 2006);

- k) Utilização de métodos gráficos para tratamento e análise das falhas por meio do *software WinTensor* que utiliza a técnica dos diedros retos (Angelier & Mechler, 1977 in Salamuni, 1998);
- l) Análise mineralógica por difratometria de raios X (DRX): Para a caracterização do conteúdo mineralógico dos constituintes dos planos de falhas WE e NS foi realizada análise mineralógica por difratometria de raios X (DRX) de três amostras denominadas de TFS012-D, TFS019-A e TFS021-B1 que foram renomeadas no laboratório para 15816-A, 15816-B e 15816-C, respectivamente. Especificações dos equipamentos encontram-se abaixo:
 - Difratômetro de Raios X, marca *PANalytical*, modelo EMPYREAN, com detector *X'Celerator*;
 - *Software* para interpretação *X'Pert High Score Plus*, banco de dados PDF-2.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOLOGIA REGIONAL

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

A região está inserida no pré-cambriano paranaense (figura 9 e 10) que geotectonicamente pertence ao Domínio Apiaí-São Roque no Cinturão Ribeira, localizado na região conhecida como Vale do Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004). A faixa Ribeira é considerada como cinturão de cisalhamento transcorrente de orientação ENE.

A evolução geológica regional está relacionada à geotectônica do sudeste e adjacências (figura 8), em especial a de idade neoproterozoica por conter eventos de fragmentação e de colisão que culminaram na estruturação da região em questão. Os processos colisionais começam há 900 Ma (Brasiliano I) e terminam em 490 Ma (Brasiliano III), com maior expressividade no Brasiliano II (670-530 Ma). Como resultado, formaram-se os sistemas orogênicos Mantiqueira e Tocantins e em 460 Ma a consolidação final que originou o Gondwana (Hasui, 2010).

Nesse contexto, cabe destacar que os domínios Apiaí e Curitiba correspondem a dois segmentos tectônicos do Sistema Orogrênico Mantiqueira (Brito Neves *et al.*, 1999 in Faleiros, 2008). De acordo com Faleiros (2008) esses domínios são limitados pelas falhas da Lancinha e Cubatão, com direções NE e ENE respectivamente.

Segundo Hasui (2010), os traços estruturais herdados quando da consolidação final do Gondwana controlam boa parte dos processos geológicos e tectônicos posteriores e de forma consequente, de acordo com o autor, "a implantação da Bacia do Paraná no Paleozoico-Jurássico, a Reativação Sul-Atlântica a que se relaciona um ativo magmatismo, rifteamento, morfogênese e abertura do Atlântico, e a neotectônica, ainda que relativamente calma, no Neógeno e Quaternário".



Figura 8: Mapa geotectônico da região Sudeste e adjacências. Fonte: Hasui (2010).

Fiori (1992) definiu três sistemas de deformação para o Grupo Açungui na região de Rio Branco do Sul, o primeiro denominado Sistema de Cavalgamento Açungui, com heterogeneidade da deformação, o Sistema de Dobramento Apiaí e o Sistema de Transcorrência Lancinha com movimentação lateral direita e reativação anti-horária a partir do Mesozoico. Destaca-se que algumas das dobras incluídas no Sistema de Dobramento Apiaí podem estar relacionadas ao Sistema de Transcorrência Lancinha sob forma de dobras escalonadas (Fassbinder, 1990).

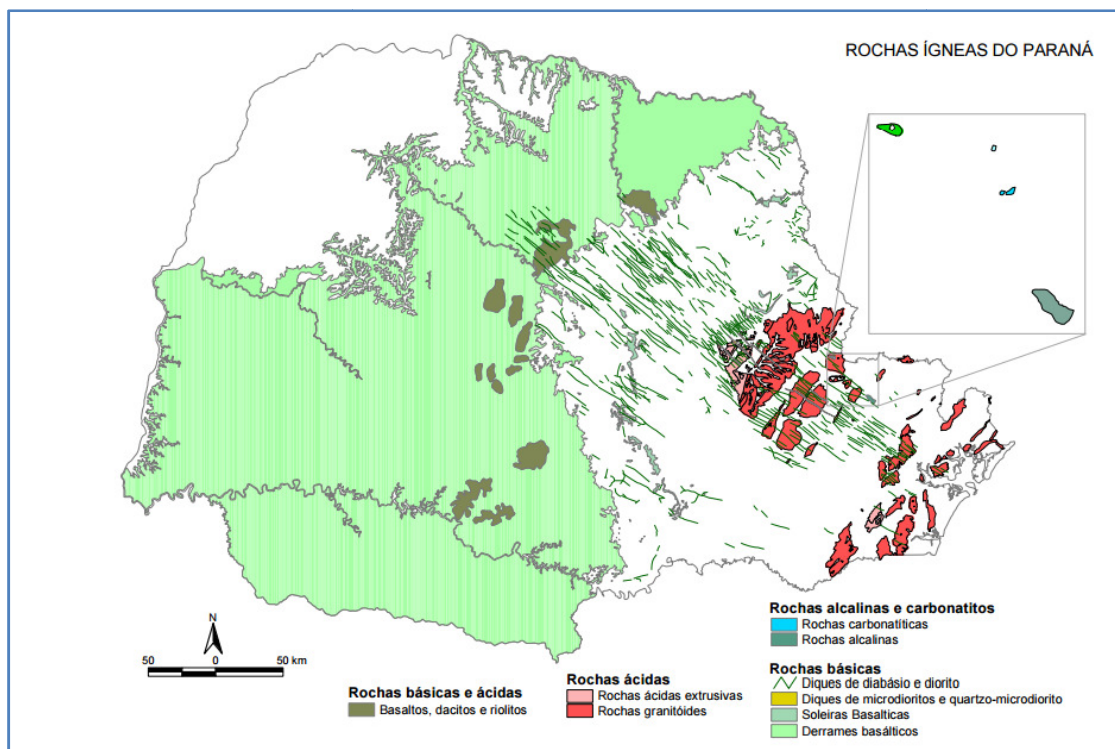


Figura 9: Contexto das rochas ígneas no Estado do Paraná. Fonte: MINEROPAR (2006)

A região de estudo está inserida no bloco tectônico D, conforme definição de Fiori (1992) e Fiori *et al.* (1998), sendo constituído pela Formação Votuverava, balizado entre as falhas de Morro Agudo e Lancinha. Nessa região aflora o Complexo Alcalino Tunas. Interessante destacar que os autores afirmam que a falha de Tunas é uma feição de descolamento da Formação Votuverava em relação ao embasamento. Os autores subdividem a região em sub-blocos tectônicos e caracterizam as unidades geológicas presentes na área. Outro fato interessante é que o sub-bloco IID, limitado pelas falhas de cavalgamento de Ribeirão Grande e de Tunas, está inserido no flanco NW da anticlinal de Água Clara.

O Complexo Alcalino de Tunas se insere no Grupo Açungui, de acordo com a concepção local dada pelo trabalho de Fiori *et al.* (1998), com a Falha de Tunas a Sul e a falha do Votuverava a norte. No que se refere à falha de Ribeirão Grande do trabalho do Fiori *et al.* (1998) não chega a seccionar o complexo alcalino, conferindo caráter anterior à sua intrusão. Convém mencionar que em trabalhos das décadas de 1980 e 1990, o autor assume que houve reativação anti-horária de estruturas com direção N50E, ou seja, àquelas relacionadas ao Sistema de Transcorrência Lancinha. Ademais, no mapa do

trabalho de Fiori *et al.* (1998) tais estruturas, como por exemplo, a falha de Tunas e falha do Ribeirão Grande, são subparalelas à Falha da Lancinha.

Fiori (1985) mencionou que a falha da Lancinha esteve em atividade no Mesozoico e provavelmente afetou o Complexo Alcalino de Tunas, visto que as direções estruturais NE seccionam o maciço e se estendem para além dos seus limites

O Complexo Alcalino de Tunas, juntamente com outras ocorrências de rochas alcalinas, faz parte da Província Alcalina de Tunas (Ulbrich & Gomes, 1981) e, de acordo com Almeida (1983) estão balizadas pelo lineamento Rio Alonzo a sul e pelo lineamento São Jerônimo-Curiúva a norte. O lineamento São Jerônimo-Curiúva configura sistema de falha de direção NW-SE que possui fraturas de tração associadas, preenchidas ou não (Almeida, 1983). Há predomínio de rochas alcalinas, gabros e ultramáficas, com ocorrência de carbonatitos. De acordo com Ferreira & Algarte (1979) há condicionamento estrutural das rochas alcalinas na região de Tunas.

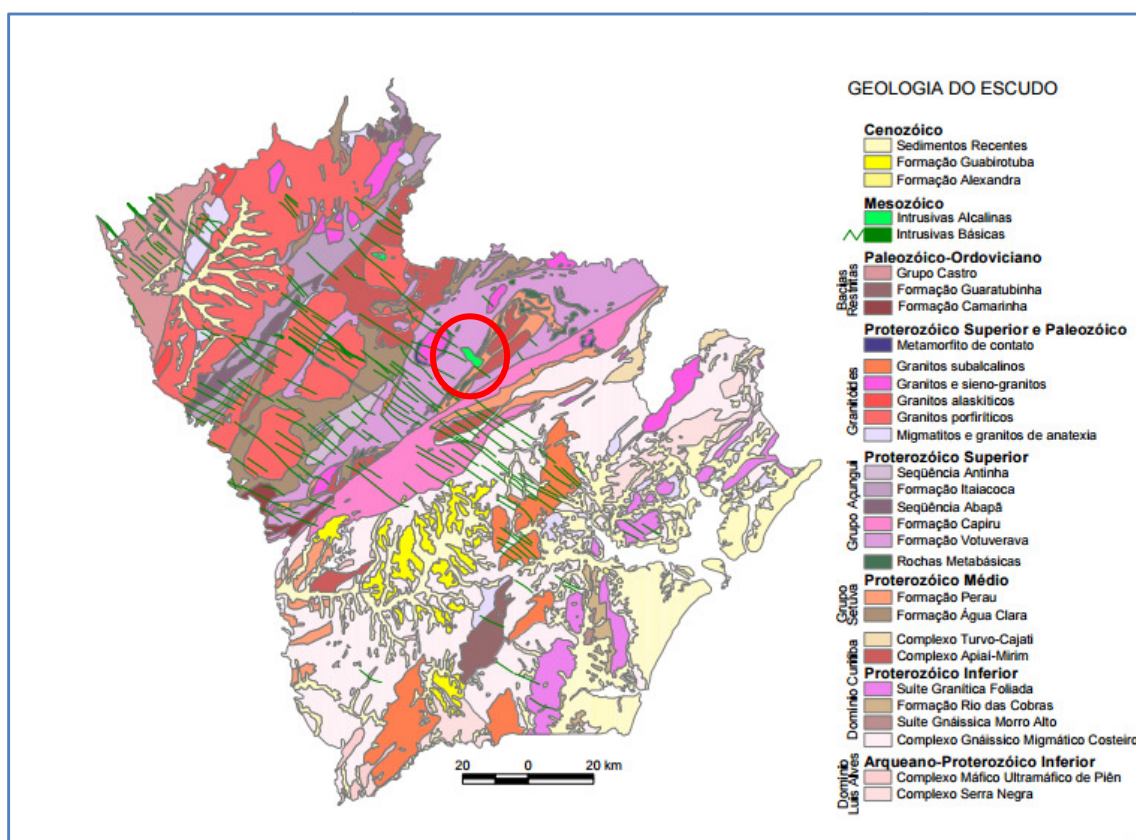


Figura 10: Complexo Alcalino Tunas em relação ao Escudo Paranaense. Fonte: MINEROPAR (2006)

2.2 GEOLOGIA REGIONAL

Conforme apontado por Melcher *et al.* (1973), a região do vale do rio Ribeira é representada por rochas de grau metamórfico desde a fácies xisto verde até anfibolito. Há manifestações graníticas sob forma de complexos, inclusive com a intrusão de batólitos graníticos neoproterozoicos alongados segundo NE-SW (p.e. Cury *et al.*, 2008) e intrudiram nas rochas supracrustais e seu embasamento (Faleiros, 2008). Posteriormente, ocorreram reativações de planos dos eventos deformacionais anteriores. Neste caso, seria um evento deformacional, de idade cretácica.

Hasui *et al.* (1984) citam que a complexidade geológica da região do vale do Rio Ribeira levou vários autores a se debruçarem sobre o assunto, bem como muitos projetos foram desenvolvidos, todos no âmbito da prospecção mineral.

A região passou por pelo menos três eventos deformacionais principais (p.e. Fiori *et al.*, 1987; Fiori, 1992; Salamuni *et al.*, 1993; Fiori *et al.*, 1998), o primeiro evento, de natureza compressional, gerou a foliação principal e aloctonia das unidades litoestratigráficas, o segundo, representado por dobramento generalizado das estruturas geradas pelo primeiro evento, enquanto que o terceiro evento é caracterizado por transcorrências responsáveis pela formação de fatias tectônicas com formas amendoadas, criação de uma foliação superimposta e por vezes, pela transposição da foliação ligada à primeira fase.

Nesse contexto, as falhas direcionais pré-cambrianas que ocorrem afastadas das bordas de placas, são antigas zonas de fraqueza que podem ser reativadas e inclusive produzir sismos de muito baixa magnitude.

A Formação Votuverava é a sequência metavulcanossedimentar que ocorre como encaixante principal do Complexo Alcalino de Tunas, sendo constituída por filitos, calcários, quartzitos, conglomerados e metabasitos (Bigarella & Salamuni, 1958; Trein *et al.*, 1967). Na figura 11 corresponde ao item "C" a norte da falha da Lancinha e corresponde às rochas metavulcanossedimentares do Grupo Açungui, onde se observam

intercalações de numerosos corpos de metabasitos e rochas metavulcânicas com ocorrência subordinada e de caráter local de quartzitos, rochas calciossilicáticas, mármore e metaconglomerados oligomíticos (Campanha *et al.*, 1987 in Faleiros, 2008).

A presente pesquisa insere-se no bloco D, local onde afloram rochas da Formação Votuverava, Formação Perau e Complexo Costeiro. No trabalho de Fiori *et al.* (1998), os autores apresentam um mapa geológico-estrutural para a região de Tunas-PR, com respectiva compartimentação tectônica da área. O bloco D (Fm. Votuverava) foi subdividido em sub-blocos, sendo que a área aflorante do Complexo Alcalino Tunas corresponde ao **conjunto litológico Coloninha**, formado por filitos síltico-argilosos rítmicos, quartzitos e quartzitos conglomeráticos e o **conjunto litológico Saivá**, constituído por xistos, metabasitos, mármore e rochas calciossilicáticas. A Falha de Tunas marca o descolamento da Formação Votuverava em relação à Formação Perau tida como seu embasamento.

O Núcleo Setuva está localizado a sul da Zona de Cisalhamento Lancinha, é formado por litotipos graníticos na porção centro-norte e gnáissico-migmatíticos na porção sul, com forma alongada, aproximadamente sigmoidal; e ocorre em meio às sequências metassedimentares da Formação Capiru. Possui contato tectônico com litotipos da Formação Capiru, e continuidade física à leste com os terrenos do Complexo Atuba. Os núcleos Betara e Tigre, posicionados a norte da Zona de Cisalhamento Lancinha, são formados predominantemente por rochas graníticas milonitizadas, com idades U-Pb (zircão) do Paleoproterozoico (Siga Jr *et al.*, 2007-b).

Os núcleos Tigre e Betara estão inseridos a norte da Zona de Cisalhamento Lancinha (figura 11) e fazem contatos respectivamente com as Formações Perau e Betara (Siga Jr. *et al.*, 2007-b). Tais rochas afloram como núcleos das antiformas de Anta Gorda e antiforma do Betara, respectivamente. A geração desses litotipos granitoides alcalinos milonitizados está associada à tectogênese Estateriana e suas características litogeoquímicas são tidas como de granitos anorogênicos que formam o embasamento da Faixa Apiaí (Cury *et al.*, 2002).

No extremo sudeste, o Complexo Alcalino de Tunas tem como encaixante rochas da Formação Perau que foi definida na década de 1980 (MINEROPAR) como Sequência Perau e posteriormente redenominada como Formação Perau, formada por quartzitos basais, rochas calciossilicáticas mineralizadas na parte intermediária, seguida por xistos e anfibolitos na parte superior (vide Macedo, 1986). A idade dessa sequência é mesoproterozoica (Cury *et al.*, 2002). Interessante destacar que no núcleo Tigre, nas proximidades da cidade de Tunas do Paraná, afloram milonitos e protomilonitos de composição predominantemente sienogranítica (Cury *et al.*, 2002).

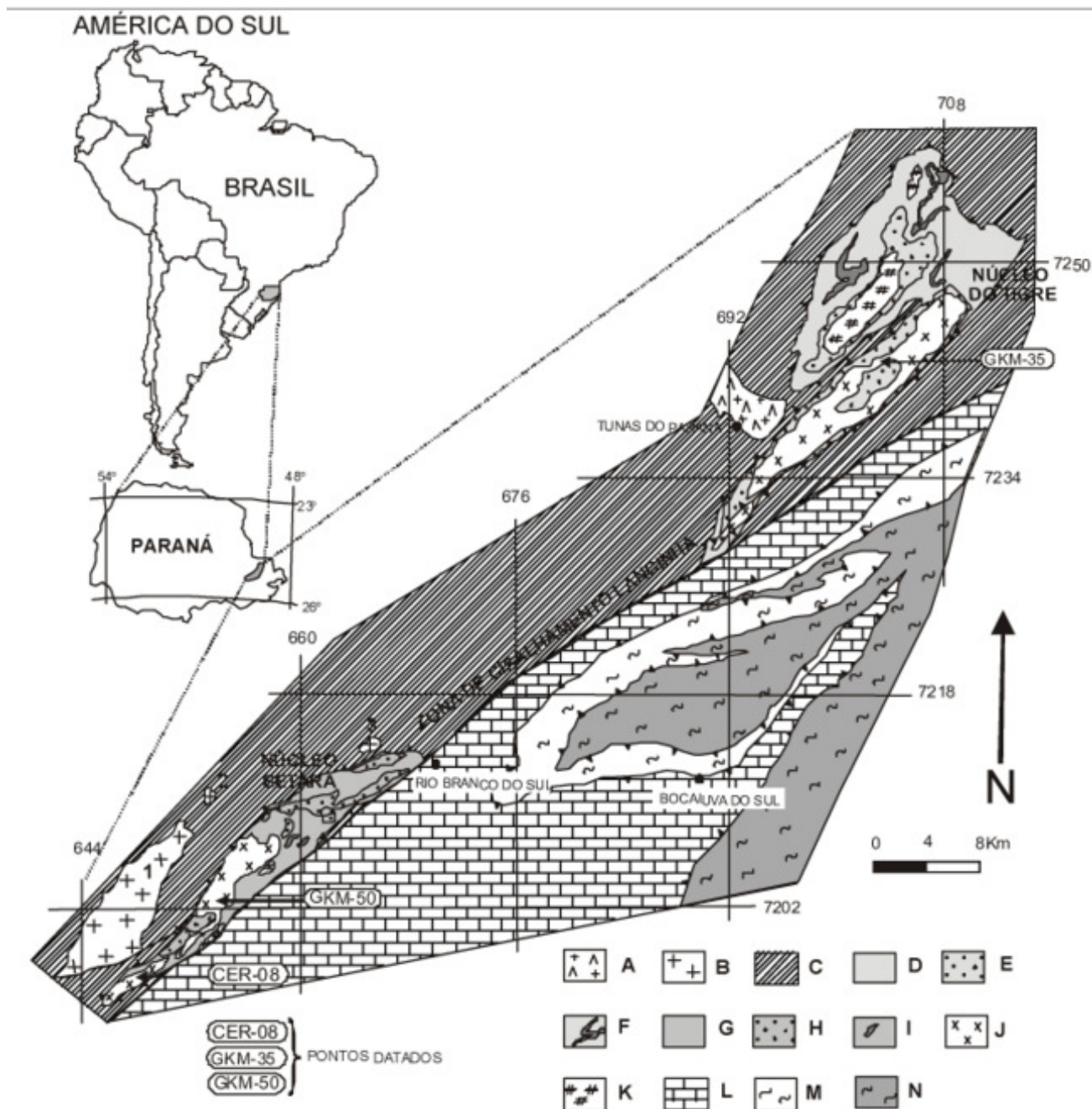


Figura 11: Esboço geológico onde o Complexo Alcalino Tunas está inserido. Idades/litotipos: MESOZOICO: Complexo Alcalino Tunas **(A)**-sienito, álcali-sienitos e brechas vulcânicas; NEOPROTEROZOICO: Granitoides tardi-tectônicos **(B)**-1 Granito Cerne, 2 Sienito Cerne, 3 Granito Rio Abaixo; MESOPROTEROZOICO: Grupo Açungui **(C)**-metavulcanossedimentares; MESOPROTEROZOICO/PALEOPROTEROZOICO SUPERIOR (?): Complexo Perau **(D)**-xistos e mármore dolomíticos, **(E)**-quartzitos micáceos, **(F)**-rochas metabásicas, Formação Betara **(G)**-micaxistos e filitos, **(H)**-quartzitos, **(I)**-rochas metabásicas; PALEOPROTEROZOICO SUPERIOR: Granitoides deformados **(J)**-sienogranitos; PALEOPROTEROZOICO/ARQUEANO (herança): **(K)**-monzonitos, granodioritos, quartzo-monzonitos, quartzo-granodioritos; NEOPROTEROZOICO (?): Formação Capiru **(L)**-metacalcários dolomíticos, meta ritmitos, filitos e quartzitos, **(M)**-xistos, fillitos e quartzitos; NEOPROTEROZOICO/PALEOPROTEROZOICO (herança)/ARQUEANO (herança): Complexo Atuba **(N)**- gnaisses e migmatitos, granitoides deformados e anfibolitos. Localização dos núcleos: abrangem faixas alongadas na direção NE-SW a oeste do município de Rio Branco do Sul-PR (Núcleo Betara) e a leste do município de Tunas do Paraná (Núcleo Tigre). Fonte: modificado de Kaulfuss (2001 *in* Cury *et al.*, 2002).

2.3 COMPLEXO ALCALINO TUNAS

Na região do Vale do Ribeira, no sudeste brasileiro, ocorrem corpos ígneos de natureza alcalina formados no Cretáceo Superior, com orientação NW-SE, seccionando a estruturação NE-SW das rochas pré-cambrianas. Nesse cenário, insere-se o Complexo Alcalino Tunas (figura 12) que possui como litotipos predominantes sienitos-hornblenda-sienito e hornblenda quartzo sienito (Moraes Rêgo & Almeida, 1946 *in* Trein *et al.* 1967); fonolitos, brechas vulcânicas, traquitos e gabros de filiação alcalina (Trein *et al.* 1967). Também ocorrem dioritos, monzodioritos, gabros, monzogabros, diques de traquito, diques de microssienito e bostonito, além das brechas vulcânicas (Vasconcellos, 1991).

Ao total são sete ocorrências distintas de brechas, quatro localizadas na sua porção noroeste (NW) e três na porção central (Vasconcellos, 1991; Vasconcellos & Gomes, 1992).

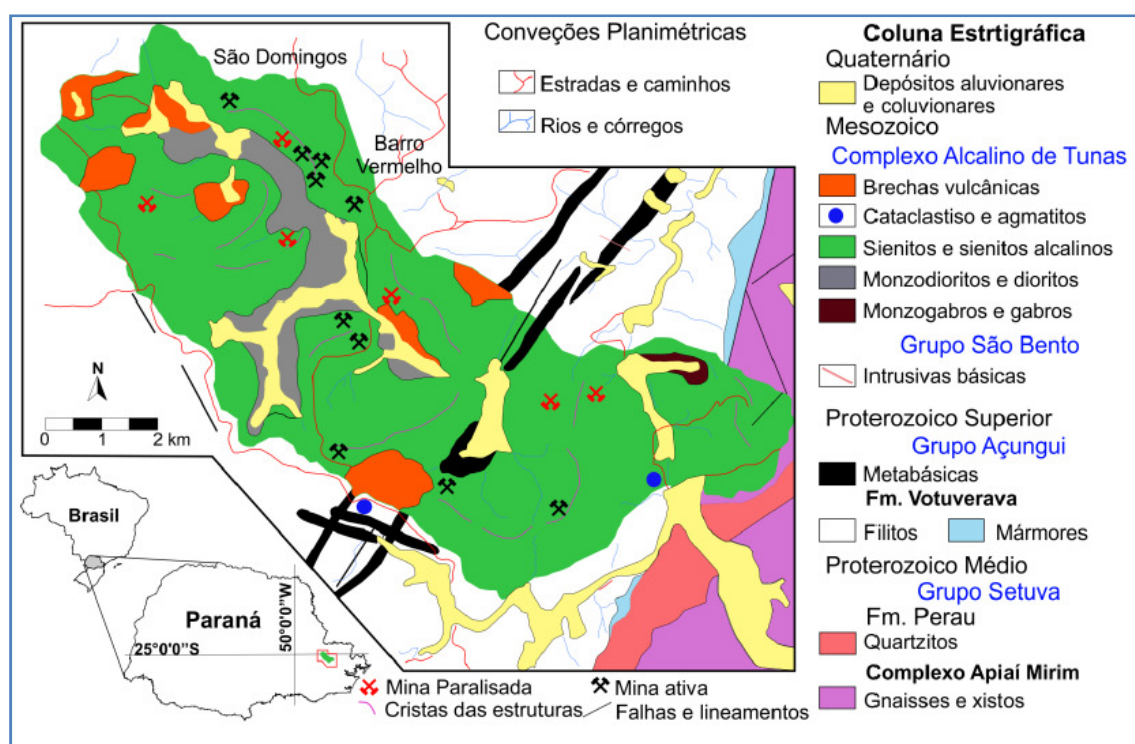


Figura 12: Mapa Geológico do Complexo Alcalino de Tunas. Fonte: Adaptado de Baêta (2004 *in* Xavier, 2016).

Maack (1947) afirma que provavelmente existiram falhas no fim do Cretáceo com consequente ascensão de magmas alcalinos que posteriormente formaram os maciços alcalinos. Nesse contexto, injeções, rompimentos

explosivos e efusões de magma alcalino significam o fim dos gigantescos fenômenos vulcânicos mesozoicos, de tal modo que, de acordo com o autor, marcaria "o começo de movimentos tectônicos mais recentes resultantes de tensões da crosta que, por sua vez, iniciaram a fase eoandina da orogenia terciária".

No trabalho de Trein *et al.* (1967), há investigação das características petrográficas e discussão de alguns aspectos estruturais e morfológicos, enquanto Fuck (1972) aprofundou-se na questão geológica e petrográfica. Interessante destacar que no trabalho de Carvalho & Pinto (1937) há menção à rocha sienítica aflorando sob forma de montanha, que forma um salto no rio Ribeirão Grande e no referido salto o sienito é cortado por diques ou veios de traquito. Os diques de traquito são de espessura que variam entre 0,5 e 5m, atingindo localmente 10m. As direções preferenciais são próximas a E-W, N20E e N50W (Fuck, 1972). O referido autor faz menção da ocorrência de dique de bostonito de 5m de espessura e direção NS.

Trein *et al.* (1967) mencionam a ocorrência de condutos vulcânicos de direção aproximada N40W que truncam a estruturação do Grupo Açungui. O maciço é formado por rochas sieníticas e sieníticas nefeliníticas sob forma de *stocks* e os representantes extrusivos constituídos por fonolitos e brechas vulcânicas de matriz fonolítica na forma de pequenos corpos isolados, aproximadamente arredondados. No centro da estrutura anelar leste ocorrem gabros com filiação alcalina.

A intrusão dos sienitos não provocou grandes variações nas atitudes das camadas encaixantes, ou seja, elas não apresentam variações nas direções e mergulhos. Na porção ocidental há brechas vulcânicas de filiação alcalina associadas a sienitos de fácies pegmatoide, além de ocorrência de rocha gabroide. A ocorrência de sienito e traquito como blocos em meio à matriz das brechas é indicação de formação tardia dessas brechas, que pode ser explicada por colapso na porção central da chaminé sienítica segundo Trein *et al.* (1967). Já para Vasconcellos (1991), a formação das brechas se deve a processos de fluidização.

Baêta (2004) realizou mapeamento direcionado do complexo, que aliado a características petrográficas e geoquímicas das rochas ornamentais,

identificou quatro fácies que foram identificadas por nomenclatura informal, coincidindo com os nomes comerciais mais utilizados.

Aspectos petrográficos e geoquímicos dos sienitos do maciço Tunas foram abordados por Xavier (2016), no intuito de caracterizar aspectos químico-mineral da paragênese primária. Dessa forma, a autora afirmou a existência de eventos magmáticos e pós-magmáticos distintos que cristalizaram os feldspatos alcalinos sob condições de temperatura e fluidos variáveis, constatando que o sienito verde é mais primitivo, enquanto que o sienito cinza caracterizaria o estágio tardio na história evolutiva do Complexo Alcalino Tunas.

Em relação à idade, predominam determinações radiométricas de K/Ar entre 80-90Ma, com idade média calculada em 82,2 Ma. que se aproxima da idade de 80,5 Ma. calculada pelo método Rb/Sr. Já Siga Jr. *et al.* (2007-a) revelaram determinações radiométricas pelo método U-Pb (ID-TIMS e SHRIMP) em cristais de zircão das rochas sieníticas, revelando idades entre 82,7 e 84,7Ma, colocando o Complexo Alcalino de Tunas no Cretáceo Superior. Por outro lado, o valor obtido pelo método Samário-Neodímio, de aproximadamente 1Ga (1019 Ma), representa a época da derivação do manto dos precursores crustais desses sienitos.

A título de comparação, a idade U/Pb para o Maciço Alcalino de Cananeia, extremo norte do Arco de Ponta Grossa, associado e controlado pelo Alinhamento Guapiara, é de aproximadamente 85 Ma e juntamente com o Complexo Alcalino de Tunas faz parte do mesmo cronogrupo do Cretáceo Superior (Spinelli & Gomes, 2008).

Outras considerações podem ser feitas no tocante à bibliografia referente ao Complexo Alcalino Tunas: a ocorrência de cataclasitos associados a falhas de direção NE-SW corroboram a hipótese de haver tectônica pós-cretácica; importante destacar que diques de composição sienítica e granulação fina a muito fina, portanto, diques de microssienitos, ocorrem cortando a sequência metavulcanossedimentar do Grupo Açungui (Siga Jr. *et al.* 2007-a); em campo, em escala de afloramento, foram observados diques de microssienito e traquito e provável pseudotaquilito cortando a sequência de sienitos verdes de granulação muito grossa a grossa; pelo que indicam estudos

de natureza diversas, as ocorrências de rochas alcalinas parecem estar controladas por lineamentos regionais de direção NE-SW interseccionados em forma de X com lineamentos NW-SE atribuídos ao Arco de Ponta Grossa (p.ex. Fernandes *et al.*, 1993; Maack, 1961, Machado Jr., 2000, Mota, 2012); associados aos eventos magmáticos, ocorrem fenômenos de natureza endógena e variação de campos tensoriais que levaram à desagregação do Pangea (Milani *et al.* 2007).

No trabalho de Mota (2012), o autor investiga os modelos geodinâmicos propostos para a geração da Província Alcalina do Sudeste Brasileiro, propondo o modelo de reativação tectono-magmática baseado em estudos estruturais e geofísicos, em detrimento do modelo das plumas mantélicas baseado, principalmente em estudos geoquímicos que teriam papel fundamental na geodinâmica da plataforma. Alguns autores sugerem a combinação dos dois modelos. De um modo abrangente, os complexos alcalinos ocorrem intimamente associados a flexuras e fraturamentos.

No caso específico do Complexo Alcalino de Tunas, ocorre próximo à borda da Bacia do Paraná, onde claramente há intersecção de dois grandes alinhamentos estruturais: o alinhamento (Falha) Lancinha-Cubatão, de direção NE-SW e o alinhamento São Jerônimo-Curiúva, de direção NW (mostrado no mapa regional de interpretação magnética estrutural da figura 26).

3 ANÁLISE ESTRUTURAL

3.1 TECTÔNICA RÚPTIL NO COMPLEXO ALCALINO TUNAS

Para a composição do arcabouço estrutural da região de estudo considerou-se primeiramente o traçado geral de lineamentos ao redor do Complexo Alcalino de Tunas. Esse traçado se deu a partir de imagem ASTER iluminada a 45° e 315° para que fossem destacadas as feições de caráter regional. Esse procedimento foi realizado apenas com o objetivo de possibilitar uma comparação entre as estruturas que são exclusivas do Complexo Alcalino Tunas e as que estão no seu entorno, abrangendo os litotipos do Grupo

Açungui. Para a análise foram geradas rosetas por frequência e por comprimento dos lineamentos.

Os lineamentos foram traçados com técnicas de fotointerpretação em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) e os mapas gerados estão listados no quadro 02.

ITEM	NOME	ESCALA	POLÍGONO
A	Mapa lineamentos. ASTER	1:50.000	Regional
B	Mapa lineamentos ASTER	1:50.000	Local (Tunas)
C	Mapa lineamentos ASTER	1:100.000	Regional
D	Mapa lineamentos ASTER	1:100.000	Local (Tunas)
E	Mapa lineamentos drenagem	1:50.000	Local (Tunas)
F	Mapa lineamentos fotoaérea	1:70.000	Local (Tunas)
G	Mapa Lineamentos ISA-GHT	1:50.000	Local (Tunas)

Quadro 2: Sumarização dos mapas de lineamentos traçados e principais atributos

O mapa de lineamentos ASTER regional exibido na figura 13 foi traçado a partir de imagem de satélite ASTER-GDEM na escala fixada em 1:100.000, enquanto que o mapa da figura 14 representa lineamentos do Complexo Alcalino Tunas na escala fixada em 1:50.000.

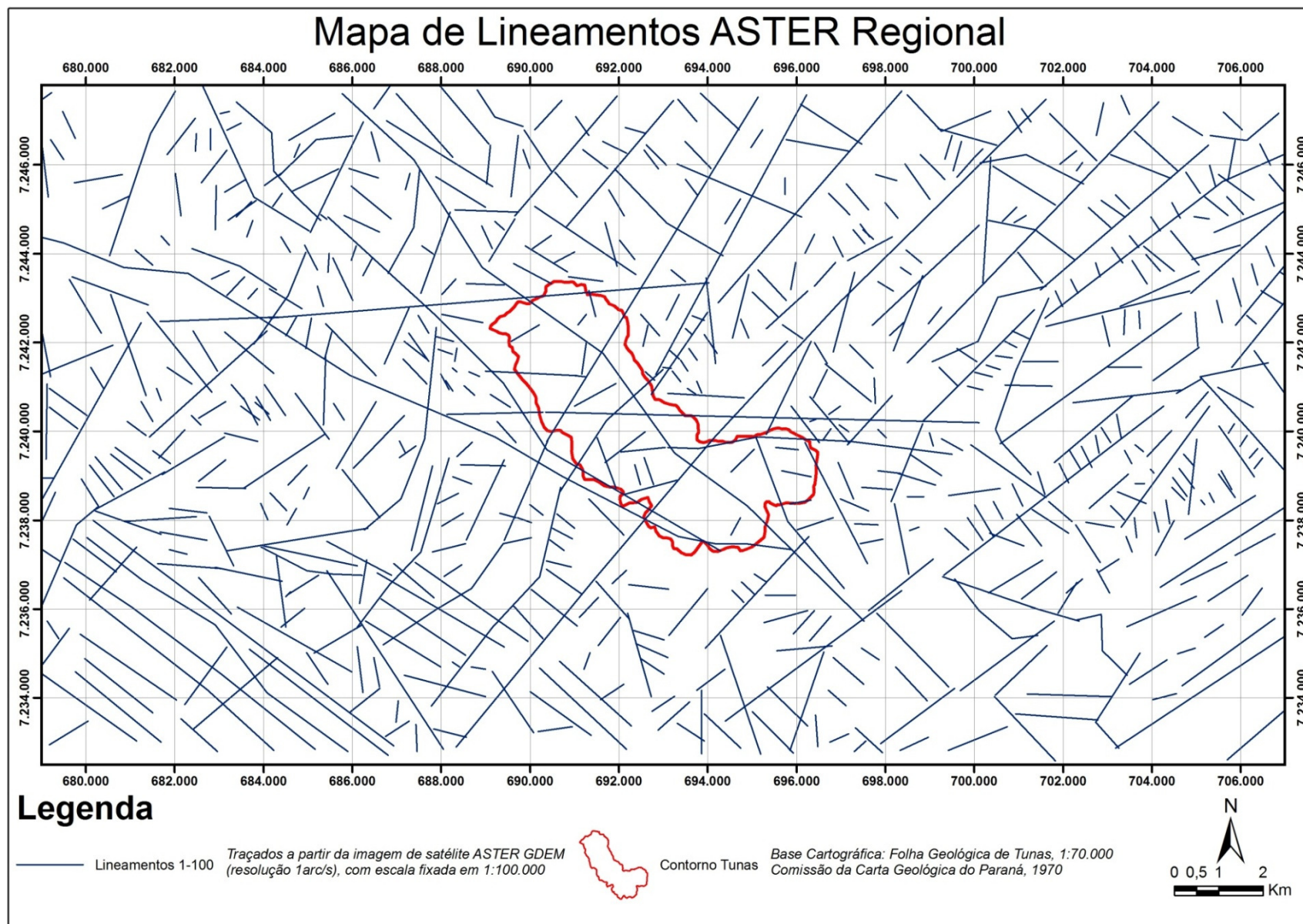


Figura 13: Mapa de lineamentos Aster regional traçados em escala fixada em 1:100.000

O mapa de lineamentos ASTER exibido na figura 14 corresponde aos lineamentos do polígono menor, local (Tunas), e foi traçado a partir de imagem ASTER-GDEM com escala fixada em 1:50.000.

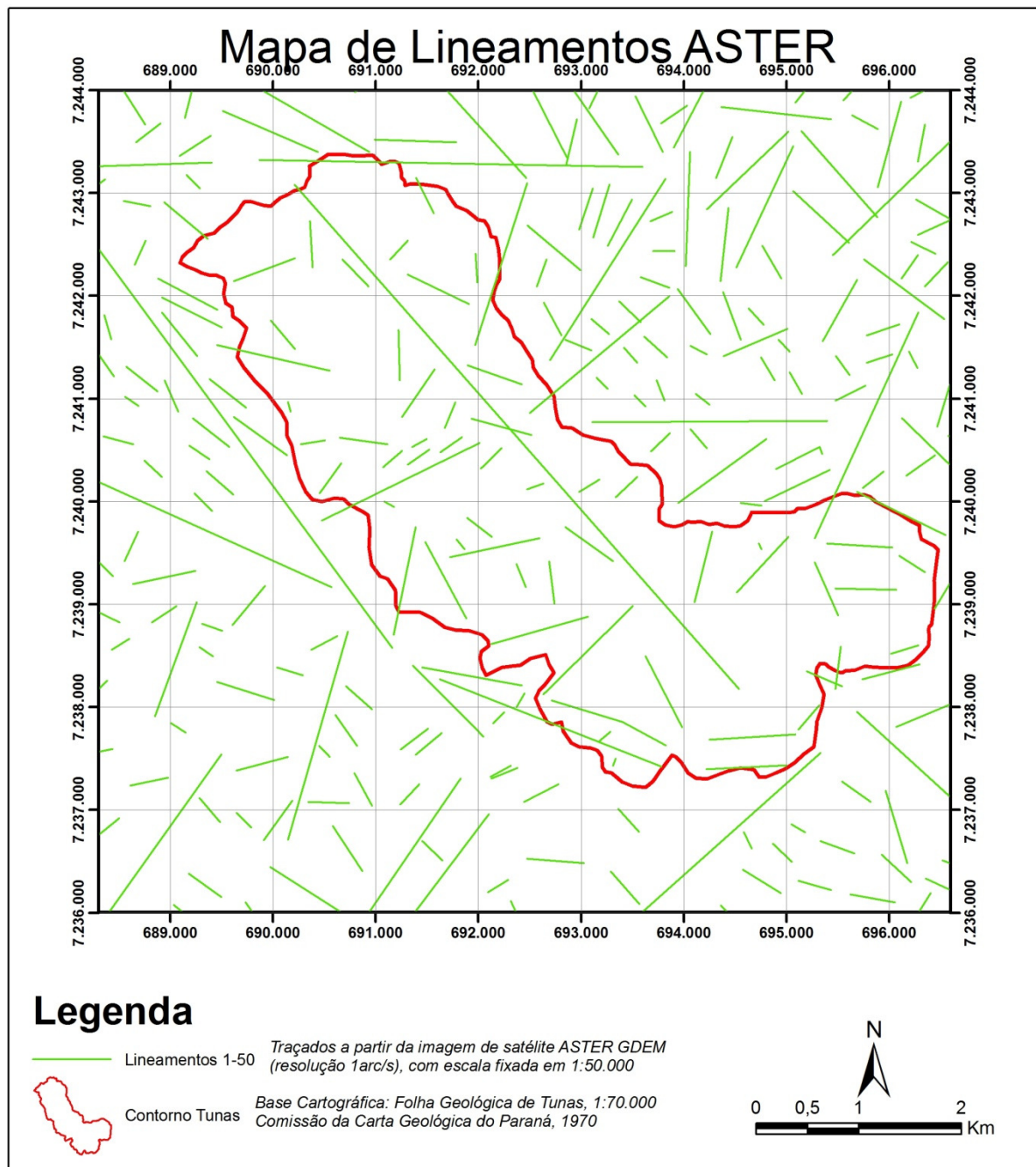


Figura 14: Mapa de lineamentos ASTER local (Tunas) na escala 1:50.000

Na figura 15 é exibido o mapa topográfico na escala 1:50.000 contendo a rede de drenagem da área de Tunas com as curvas de nível com equidistância de 10m. A partir da rede de drenagem do mapa topográfico foram traçados os lineamentos de drenagem.

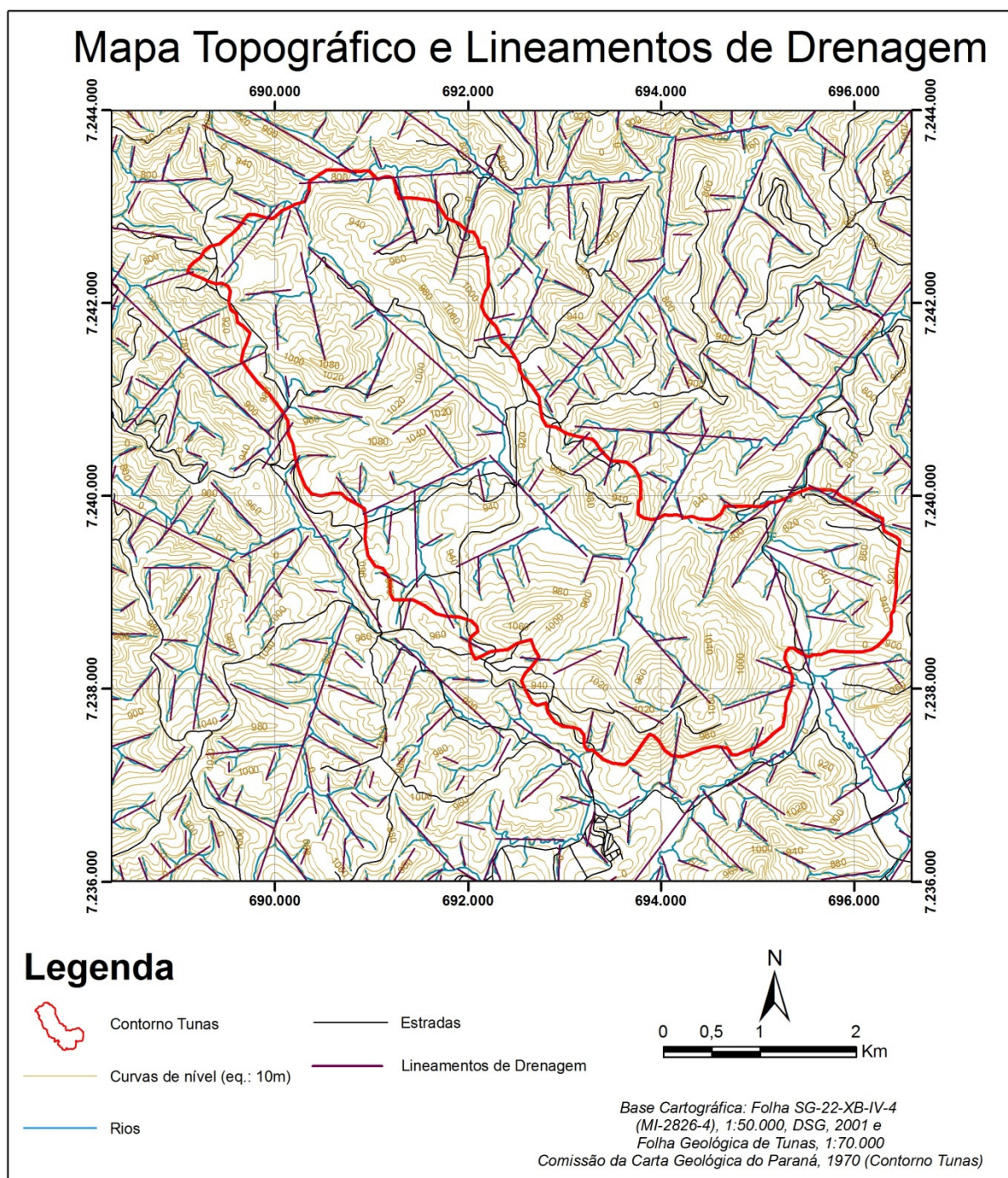


Figura 15: Mapa topográfico e lineamentos de drenagem do Complexo Alcalino Tunas na escala 1:50.000

3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS REGIONAIS

Primeiramente, os lineamentos foram traçados na escala fixada em 1:50.000, denominados lineamentos ASTER regional, num total de população igual a 1.598 traços. Após isso, foram realizados os procedimentos "b" e "c" descritos no capítulo "Métodos". A figura 16 representa o diagrama de rosetas gerado por frequência, onde claramente se nota predominância de lineamentos N40-50W em amarelo e subordinadamente, em verde, N50-60W e N30-40W.

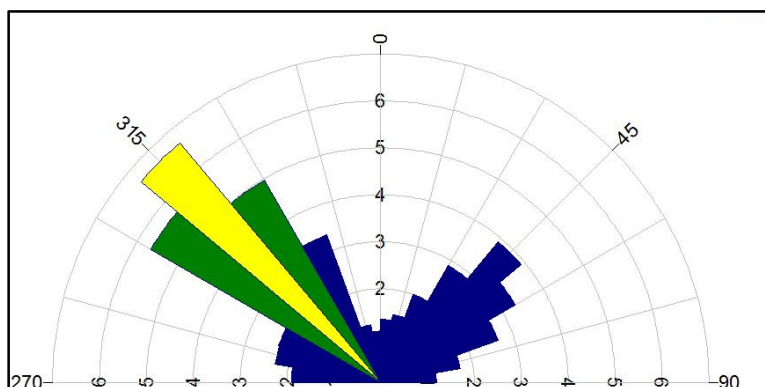


Figura 16: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:50.000 regional por frequência, n=1.598.

Ao analisar os lineamentos regionais na escala 1:50.000 por comprimento (figura 17), há predominância de três famílias principais para NW-SE representadas em verde, a de maior ocorrência entre N40W-N60W, e secundariamente N30-N40W. Para o quadrante NE se nota a predominância dos lineamentos entre N40E-N50E em verde e secundariamente N50E-N60E.

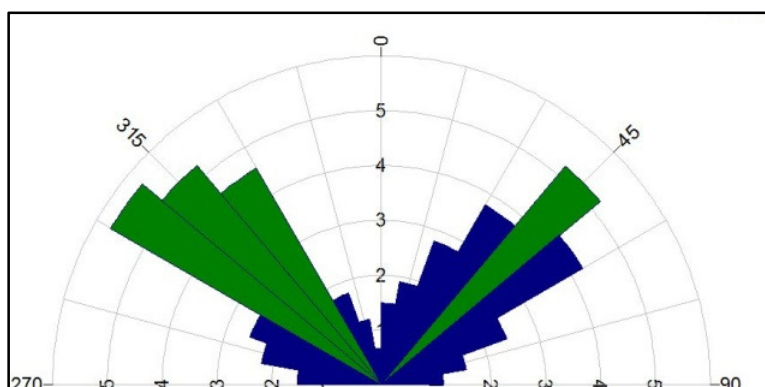


Figura 17: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:50.000 regional por comprimento, n=633

Na figura 17 observa-se que os lineamentos NE-SW apesar de não serem tão frequentes se comparados aos NW-SE, são extensos, equiparando-se aos lineamentos anteriormente mencionado. Esse fato permite dizer que as falhas de Ribeirão Grande e de Tunas podem estar influenciando no resultado, visto que ambas são estruturas de grande extensão. Os rios da região que possuem maior comprimento são primeiramente os NW-SE, seguido dos rios NE-SW (figura 15).

Os lineamentos traçados na escala fixada em 1:100.000 foram denominadas lineamentos ASTER regional de segunda ordem, num total de população igual a 654 lineamentos traçados.

A figura 18 representa o diagrama de rosetas por frequência onde claramente se nota predominância de lineamentos N40-60W e subordinadamente N30-40W.

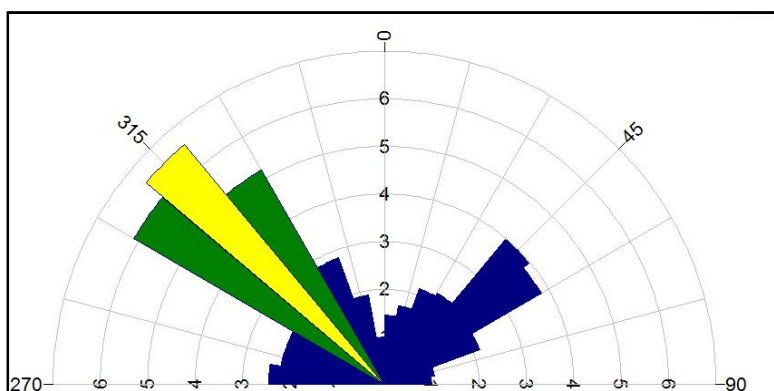


Figura 18: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:100.000 regional por frequência, população 654

Ao analisar os lineamentos regionais na escala 1:100.000 por comprimento (figura 19), com população total de 654 lineamentos, há predominância de duas famílias principais para NW representadas em verde, a de maior ocorrência entre N40W-N60W e secundariamente N30-N40W. Para o quadrante NE se nota a predominância dos lineamentos N40E-N50E em verde e secundariamente N50E-N60E e N20E-30E. As estruturas com direção aproximada E-W merecem destaque, pois ocorrem de forma semelhante tanto para NE quanto para NW, diferente do que ocorre no diagrama por frequência, onde se observa maior frequência das estruturas E-W predominantemente para NW.

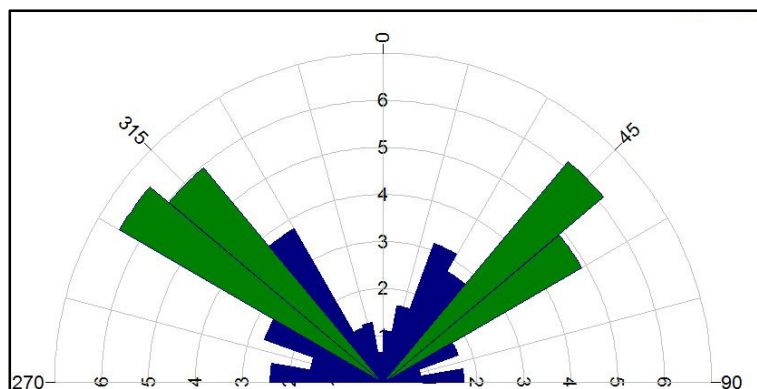


Figura 19: Diagrama de roseta representando lineamentos ASTER 1:100.000 regional por comprimento, população 654

3.3 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS LOCAIS

Como não se observou variação que pudesse ser significativa entre os traçados 1:100.000 e 1:50.000 em escala regional, optou-se por traçar, no polígono onde está contido o Complexo Alcalino Tunas, apenas os lineamentos fixados em 1:50.000. Nesse polígono, conforme pode ser observado na figura 14, contempla em parte as rochas encaixantes, porém os traçados estão mais detalhados se comparados com o traçado regional.

A roseta da figura 20 totaliza a população de 240 traçados de lineamentos e foi gerada por **frequência**. Claramente se nota predominância de lineamentos para NW em relação às estruturas NE. No quadrante NW, em amarelo, estão representados lineamentos com direção preferencial N40-50W, em verde lineamentos N50-N60W e em azul o terceiro grupo de lineamentos predominantes para NW, no caso, as estruturas com direção N20-30W. Não se pode deixar de observar, ainda no quadrante NW, as estruturas E-W a N80W que são mais expressivas nesse quadrante. Para o quadrante NE, a estrutura predominante possui direção N40-50E e ocorre na mesma frequência que a estruturação N20-30W.

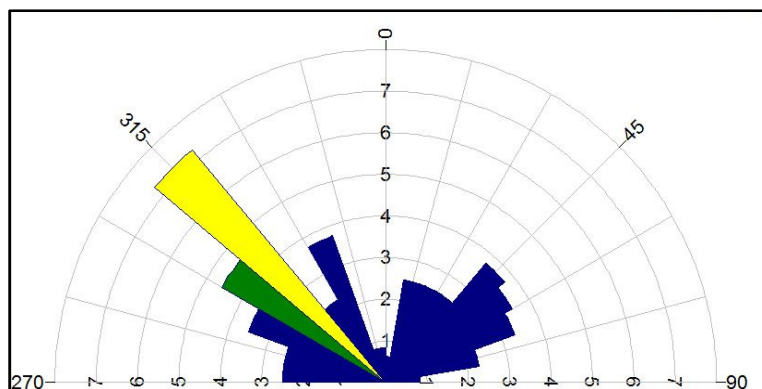


Figura 20: Diagrama de rosetas representando lineamentos ASTER 1:50.000 por frequência do Complexo Alcalino Tunas com população de 240 traçados

Os lineamentos traçados em imagem ASTER na escala 1:50.000 e diagrama de roseta gerado por **comprimento** (figura 21), a partir de uma população de 84 traços, revela em amarelo a predominância de estruturas N40-50W. Em verde está representado os lineamentos com direção N60-70W, enquanto que em azul sobressaem os lineamentos N30-40W e N80-90W. No quadrante NE, a estrutura que se destaca é a de direção N30-40E, enquanto seguem as estruturas N10-20E e N40-50E e por último as estruturas com direção N20-30E.

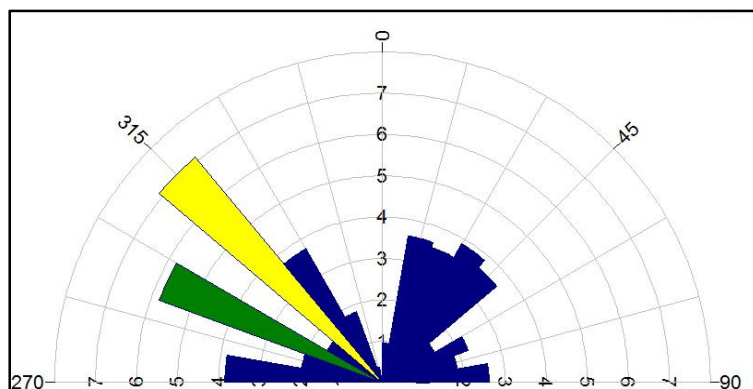


Figura 21: Diagrama de rosetas representando lineamentos ASTER 1:50.000 por comprimento do Complexo Alcalino Tunas com população de 84 traçados

3.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DAS MORFOESTRUTURAS DE DRENAGEM

Os traçados dos lineamentos foram confeccionados na escala 1:50.000, com geração de diagrama de roseta por frequência com todos os traçados, em seguida os mesmos foram subdivididos por comprimento. O diagrama de primeira ordem representa lineamentos com comprimento menor que 250m, o

de segunda ordem representa os lineamentos de drenagem compreendido entre 251 e 500m, enquanto que o diagrama de rosetas de terceira ordem representa os lineamentos de drenagem com extensões superiores a 501m.

O diagrama de roseta de drenagem por frequência (figura 22), possui claramente a medida dominante N20-30E representada em amarelo, que se destaca fortemente. Há uma concentração menor entre N60-70W, N30-60E e N30-60W. As estruturas N60-70W e N10-20E ocorrem com igual frequência, fato observado com as estruturação N80-90W e N-S até N10E.

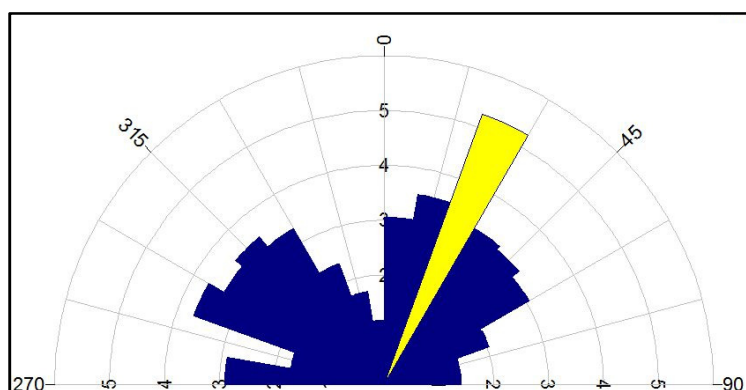


Figura 22: Diagrama de roseta para lineamentos de drenagem na escala 1:50.000 por frequência, n=638

O diagrama de rosetas para os traços de drenagem menor que 250m, lineamentos de primeira ordem representados na figura 23, traz algumas relações importantes. Primeiramente, em amarelo, estão representadas estruturas dominantes na direção N20-30E, seguida das estruturas N50-60E em verde. As estruturações NS até N10E aparecem em terceiro lugar, representadas em azul. No quadrante NW, as estruturas que dominam são as N40-50W e N60-70W, seguidas as de direção N20-30W. Interessante notar que as estruturas N50-60W e N80-90W ocorrem em mesma quantidade que as estruturas N10-20E e N30-40E.

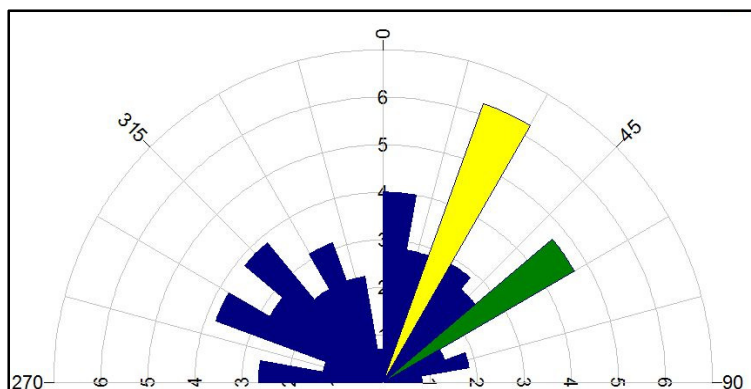


Figura 23: Diagrama de rosetas para os lineamentos de drenagem de 1.^a ordem com comprimentos menores que 250m, n=205

O diagrama de rosetas para os traços de drenagem compreendidos entre 251 e 500m, foi denominado diagrama de segunda ordem e está representado pela figura 24. As estruturas N20-30E dominam sobre as demais, seguidas pelas direções N10-20E e N60-70W representadas em verde. As estruturas N30-60E e N30-60W ocorrem de forma similar. Ainda, há lineamentos de drenagem compreendidos entre N70-90W que são observados para o quadrante NW, o mesmo não observado para o quadrante NE, cujos lineamentos ocorrem de forma esparsa.

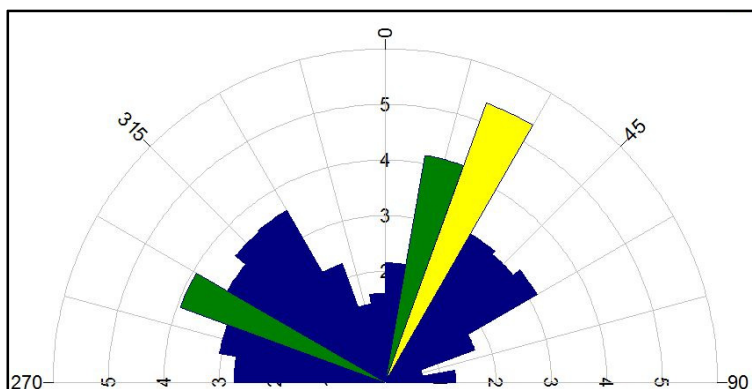


Figura 24: Diagrama de rosetas para os lineamentos de drenagem de 2.^a ordem com comprimento compreendido entre 251 e 500m, n=287

O diagrama de rosetas para os traços de drenagem com mais de 500m de extensão, denominados diagramas de terceira ordem, está representado pela figura 25 abaixo. A estruturação em verde representa os lineamentos de maior ocorrência N40-50W e N10-20E. Secundariamente, ocorrem as estruturas N60-70W e N30-40E. Ainda, para NW há estruturas N50-60W em igual ocorrência com as estruturas N20-30E e N40-50E.

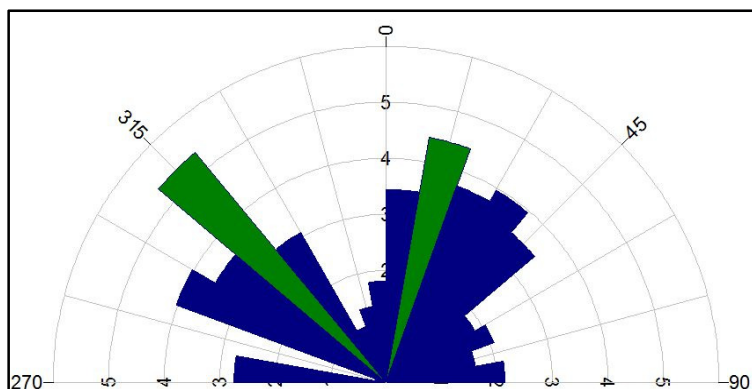


Figura 25: Diagrama de rosetas para os lineamentos de drenagem de 3.ª ordem com comprimento superior a 500m, n=164

3.5 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS GEOFÍSICOS INTERPRETADOS ISA_GHT

Na figura 26 é mostrado o mapa de Interpretação magnético-estrutural a partir de mapa de lineamentos ISA_GHT (Ferreira *et al.*, 2010 e Ferreira *et al.* , 2013).

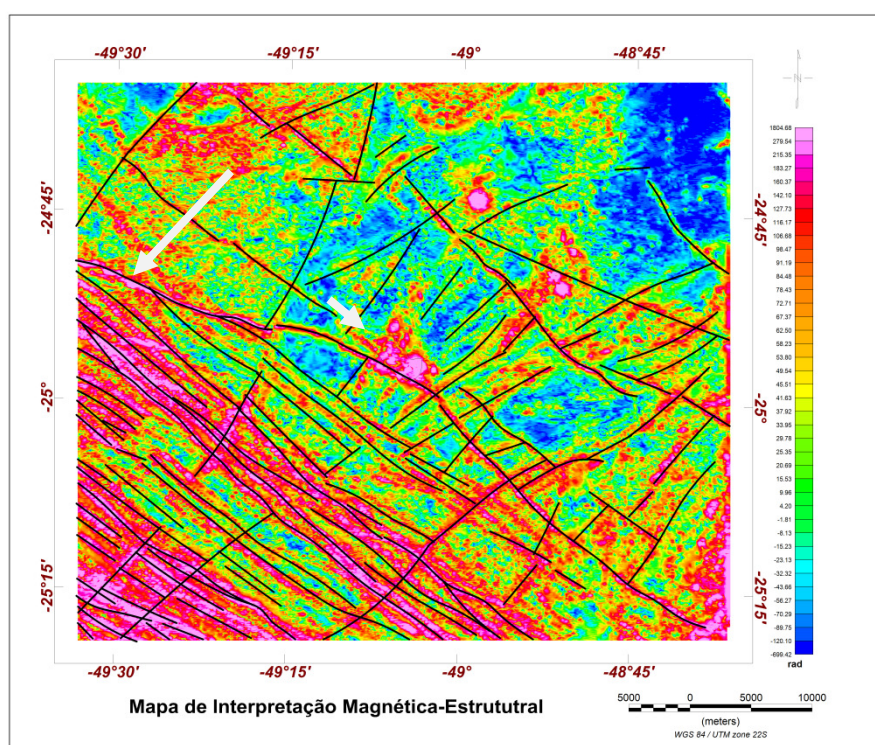


Figura 26: Mapa de Interpretação Magnético-Estrutural a partir do mapa ISA_GHT na escala 1:440.000. No centro da imagem, em rosa com contorno preto, localiza-se o Complexo Alcalino Tunas.

No mapa da figura 26, nota-se claramente que o Alinhamento São Jerônimo-Curiúva (feixe de diques representado em rosa pelos alinhamentos magnéticos a sudoeste da área) condiciona a colocação do Complexo de Tunas. É possível perceber a intersecção entre a Falha da Lancinha, de direção aproximada N50E e o referido alinhamento. Nesse mapa, nota-se a existência de duas falhas com direção aproximada N30E que seccionam o maciço na sua porção central.

Quando analisado numa escala maior, os lineamentos ISA-GHT (figura 27 e 28) revelam importantes feições. A mais evidente apresenta direção aproximada E-W que secciona vários pontos de visitação (TFS012, TFS011, TFS002, TFS015, TFS022, TFS003, TFS021, TFS004 e TFS001). As feições NE-SW são destacadas, em especial na porção norte/noroeste do maciço. As estruturas NW-SE são bem marcadas na porção Sul e correspondem à estruturas que certamente condicionam a colocação do complexo Tunas.

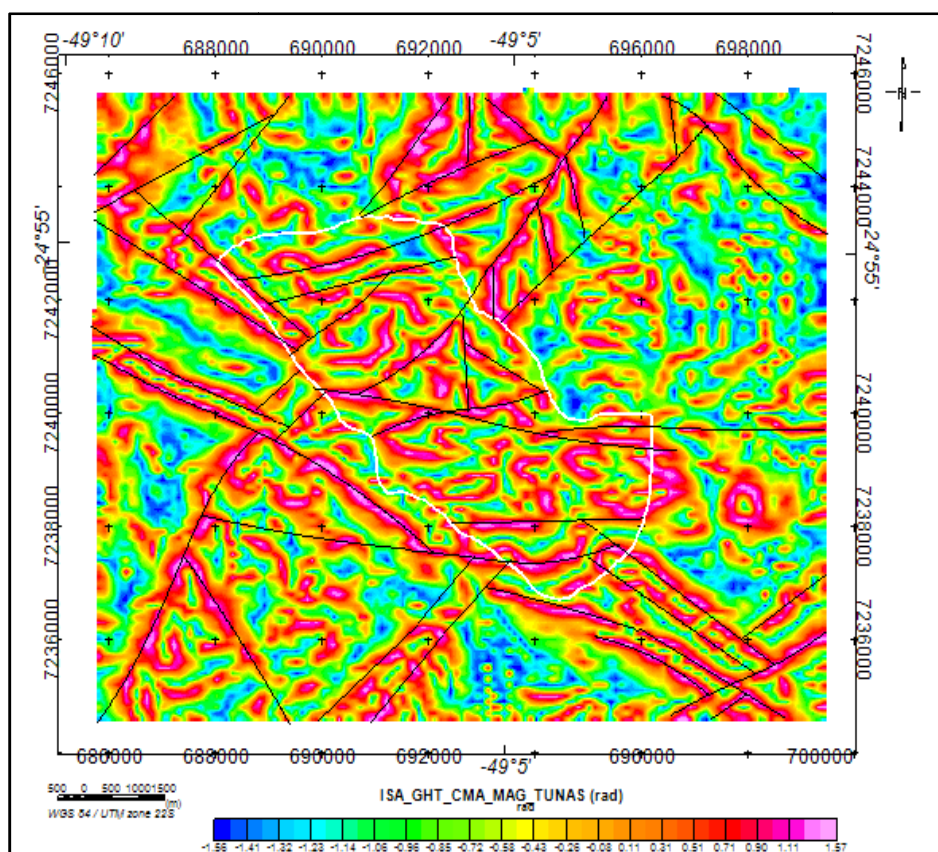


Figura 27: Mapa de lineamentos ISA_GHT e interpretação magnético-estrutural na escala 1:50.000

A partir da interpretação dos lineamentos ISA_GHT foi confeccionado o mapa da figura 28 que além dos lineamentos contém os 22 pontos de visitação.

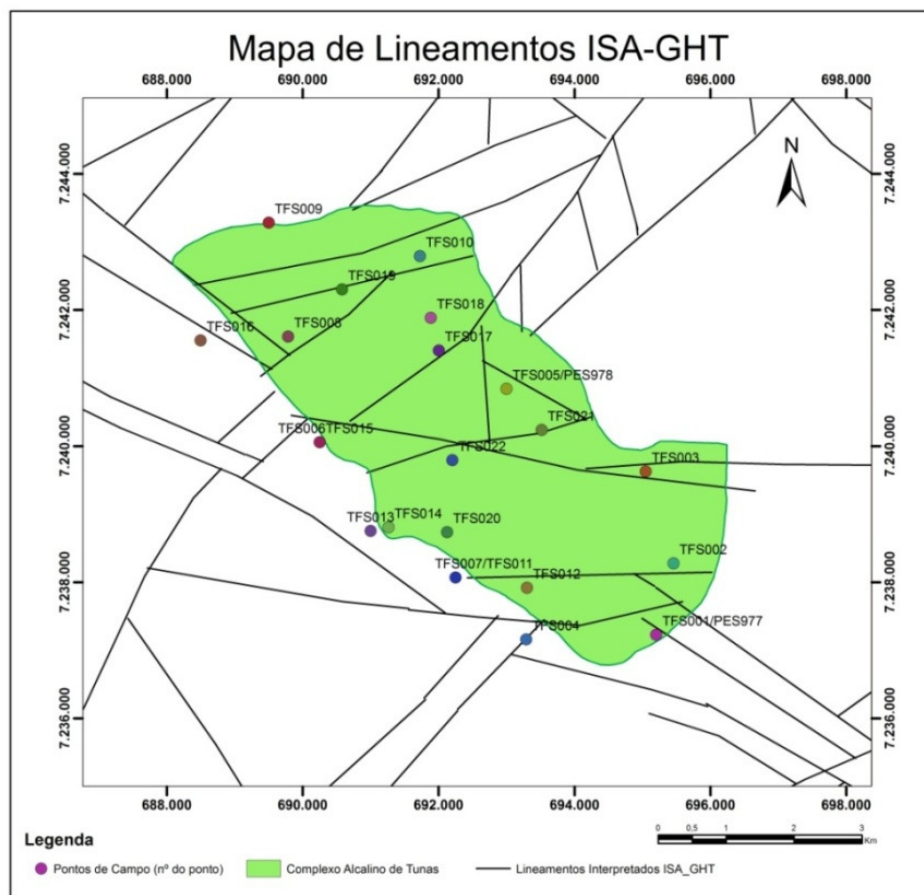


Figura 28: Mapa de pontos e lineamentos ISA_GHT do Complexo Alcalino Tunas escala 1:50.000

O diagrama de rosetas para lineamentos ISA-GHT, por comprimento (figura 29) releva que os maiores comprimentos possuem direção para 50-60W e N40-50E, secundariamente N60-70W e N30-40E.

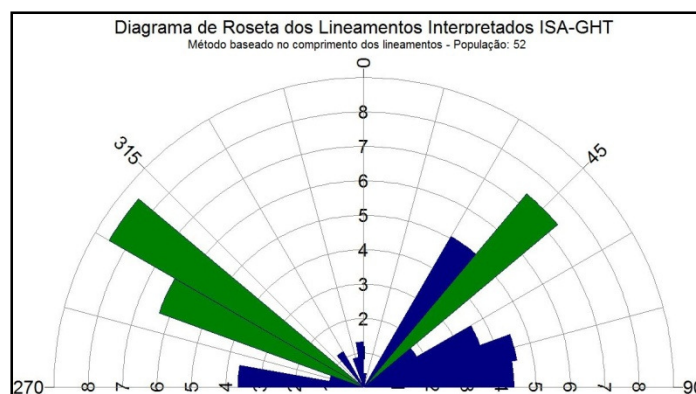


Figura 29: Roseta para lineamentos ISA-GHT por comprimento

O diagrama de rosetas para os lineamentos ISA-GHT por frequência (figura 30) revelam que as maiores frequências ocorrem para N40-50E e N50-60W.

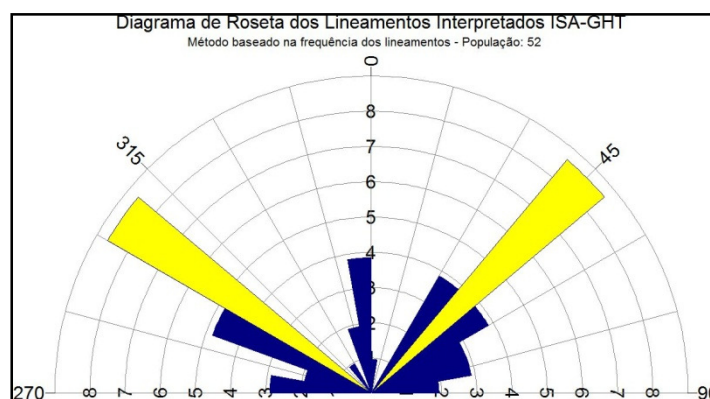


Figura 30 Roseta para lineamentos ISA-GHT por frequência.

3.6 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS FOTOINTERPRETADOS

O mapa de lineamentos fotointerpretados na escala 1:70.000 (figura 31) revela que há uma forte estruturação NE, seguida de uma estruturação NW-SE importante e outra aproximadamente E-W. Há de se destacar que o maciço encontra-se fortemente fraturado/falhado.

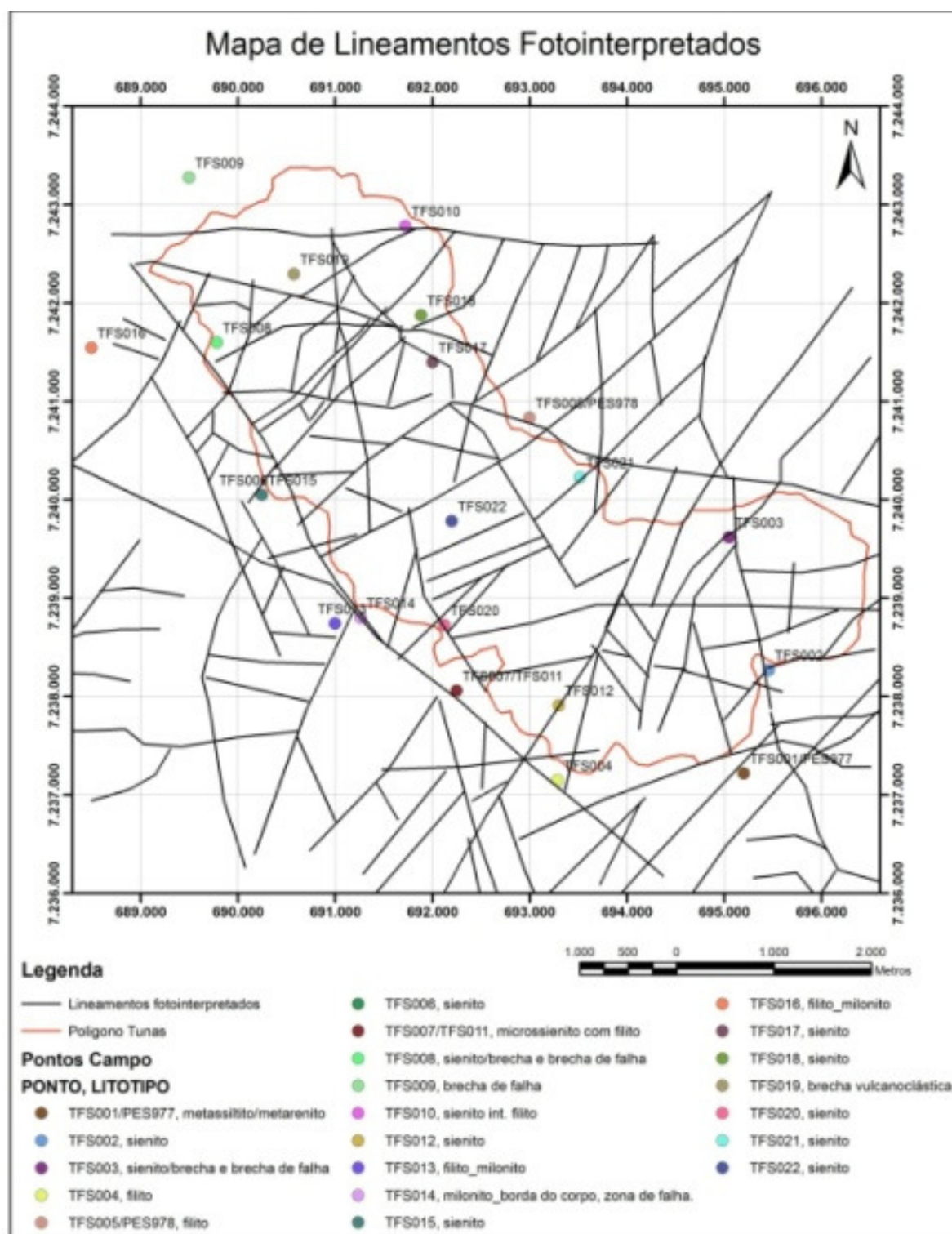


Figura 31: Mapa de Lineamentos Fotointerpretados na escala 1:70.000.

Os maiores comprimentos ocorrem para o quadrante NE (figura 32), destacando-se fortemente a estruturação N40-50E, seguida da estruturação N30-40E e secundariamente as estruturas E-W. Há destaque secundário das estruturas N20-30E.

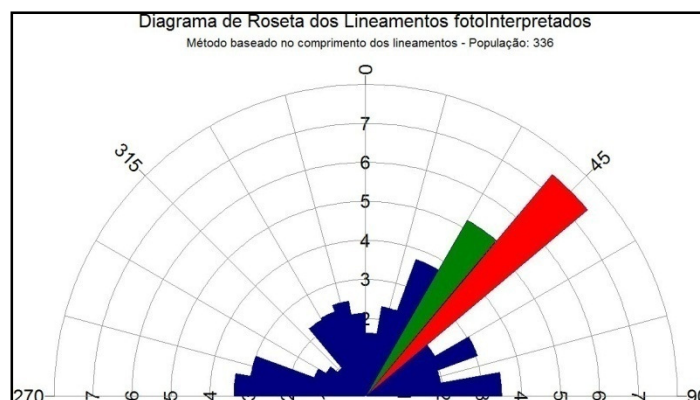


Figura 32: Roseta lineamento fotointerpretado comprimento

Quando se analisa o diagrama de rosetas por frequência (figura 33), se destacam novamente a estruturação 40-50E, seguidas das estruturas E-W e N30-40E. O resultado desse diagrama foi o que mais se aproximou das estruturas de campo, devido provavelmente à escala reduzida e pela aplicabilidade de fotointerpretação para estudos estruturais.

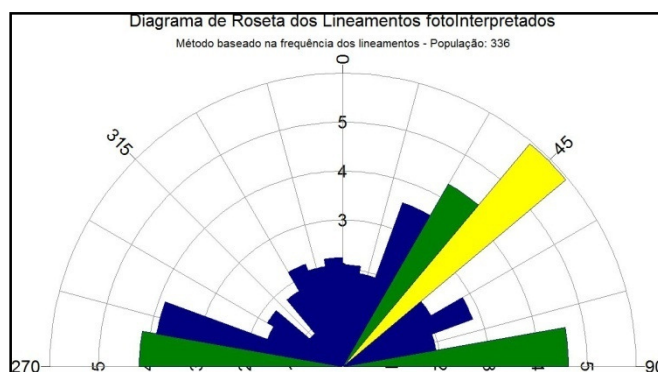


Figura 33: Roseta lineamento fotointerpretado por frequência

3.7 ANÁLISE ESTRUTURAL EM MESOESCALA

No presente trabalho foram estudadas as estruturas rúpteis que ocorrem no Complexo Alcalino de Tunas, caracterizando-as e tentativamente hierarquizando-as pela sua ordem cronológica. É um trabalho complexo, uma vez que em afloramento é por vezes difícil caracterizar qual família de fraturas ocorreu preliminarmente anterior às outras.

Para facilitar as discussões posteriores, as falhas foram individualizadas conforme a seguinte nomenclatura:

- (a) Sistema NE-SW- falhas entre N30E e 60E
- (b) Sistema N-S- falhas entre N30E e N30W
- (c) Sistema NW-SE- falhas entre N30W e 60W
- (d) Sistema E-W- falhas entre N60E-90E e N60W-90W.

3.7.1 Falhas normais

As falhas normais que ocorrem no Complexo Alcalino Tunas (figura 34-a e 34-b) mostram direção preferencial de N50-60E (22,2%) com planos secundários aproximadamente NS.

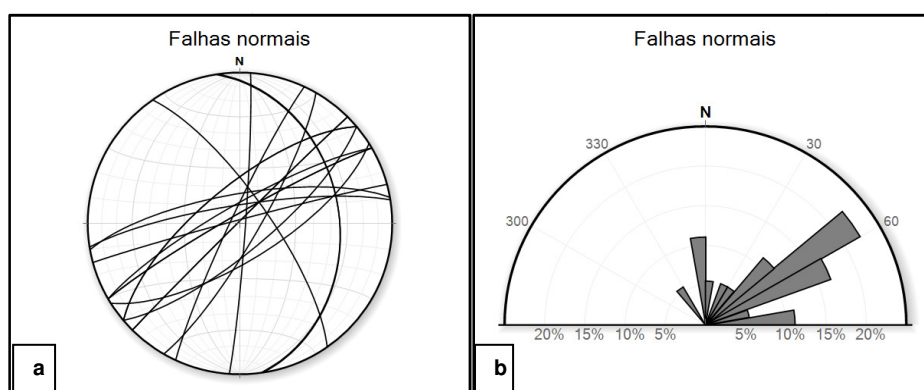


Figura 34: Diagramas para todas as falhas normais: a) diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior; b) diagrama de rosetas. n=18 medidas

3.7.2 Falhas transcorrentes sinistras

O diagrama de rosetas e o estereograma para as transcorrências sinistras do Complexo Alcalino Tunas (figuras 35a e 35b) mostram três direções principais de ocorrência de estruturas, predominam as de direção N60-70E (16,9%), secundariamente N10-20W, N40-50E e N80-90W.

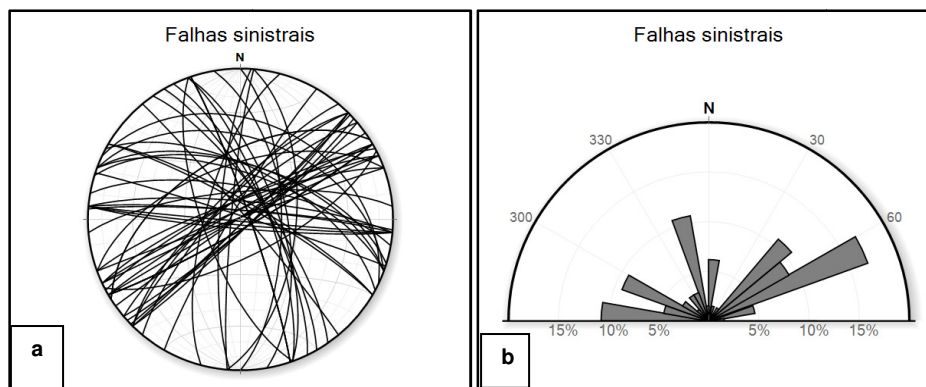


Figura 35: Diagramas para todas as transcorrências sinistras: a) diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior; b) diagrama de rosetas, n=65 medidas

3.7.3 Falhas transcorrentes destrais

O diagrama de rosetas e o estereograma (figura 36-a e 36-b) do Complexo Alcalino Tunas mostram três direções principais de ocorrência: as estruturas N70-80E predominantes (19,2%), seguidas das N60-70W e N40-60E.

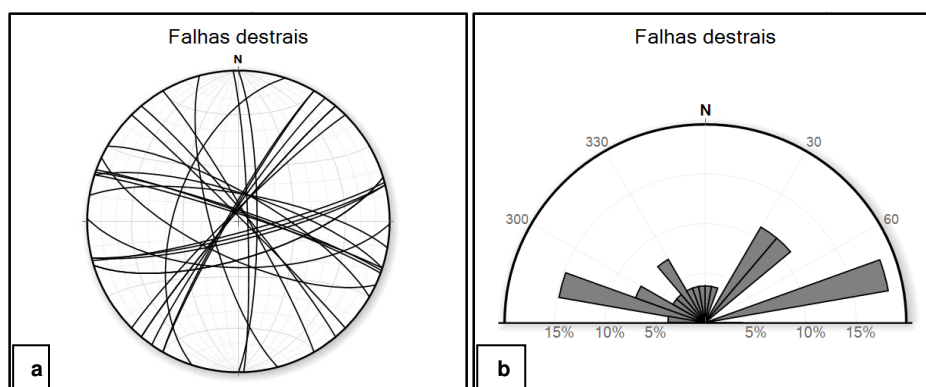


Figura 36: Diagramas para todas as transcorrências destrais: a) diagrama de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior; b) diagrama de rosetas. n=27 medidas

3.7.4 Sistema de fraturas NE-SW: Família N30-60E

Sistema de fraturas que ocorre em praticamente todos os afloramentos estudados. As falhas normais e transcorrentes sinistras possuem direções preferenciais para N50E, enquanto que as transcorrentes destrais em geral

estão direcionadas para N30-40E, conforme estereogramas anteriormente apresentados.

A família de fraturas possui direção entre N30-45E estando paralelas à foliação das rochas encaixantes. Aparece como normal, normal/oblíqua e destal. É comum a direção N60E formar a falha principal Y de Riedel enquanto que a direção N30E caracterizando-se como fratura R, de acordo com critérios de Riedel e Petit (1987).

As falhas de direção N30E assumem cinemática destal e cortam localmente a estruturação E-W. Por vezes ocorrem como reativação dos planos de foliação configurando falhas inversas. As falhas de direção aproximada N60E aparecem com cinemática sinistral, configurando localmente estruturas em flor e às vezes formam estruturas de Riedel R nos planos principais de direção aproximadamente E-W.

O plano de direção N35E e cinemática destal, no ponto TFS020, configura falha de mesma direção do dique de provável traquito (figura 37). Tal estrutura afeta as bordas da intrusão, tornando-a mais vulnerável ao intemperismo e forma conjugada com estrutura N85E/88SE. Esta última estrutura desloca estruturas N40W/87NE que por sua vez, deslocam as estruturas N86E/86NW com cinemática lateral direita. Tal fato evidencia a dificuldade de estabelecer uma ordem cronológica para a deformação imposta pelos diferentes sistemas de falhas.

Aqui cabe destacar que Vasconcellos (1995) afirma que os diques alcalinos do Complexo Tunas correspondem a traquitos com feldspatos alcalinos enriquecidos em albita, piroxênios, anfibólios, opacos na forma de Ti-magnetita e olivinas faialíticas, com ausência de nefelina modal. Em função disso, as rochas cinza a cinza esverdeadas de granulação fina a muito fina que ocorrem na forma de diques foram denominadas de traquitos.

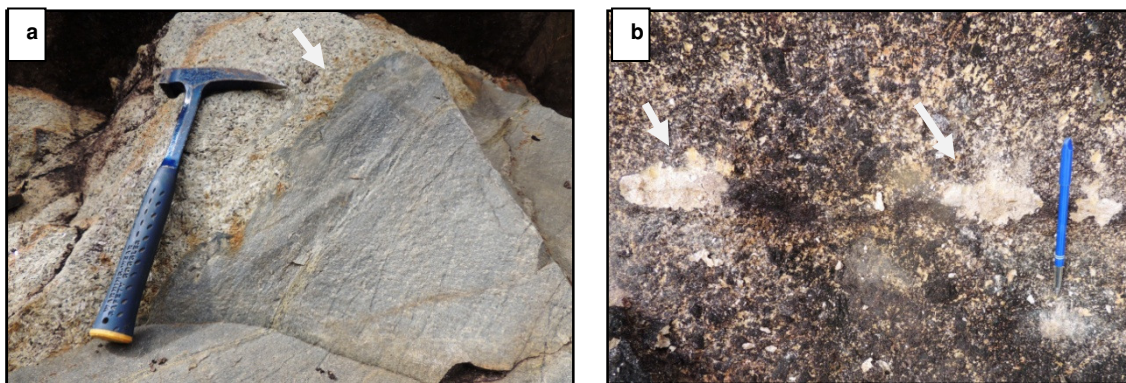


Figura 37: a) Dique de provável traquito de direção N35E. b) Preenchimento de 2cm de espessura aparente. Plano de falha N46E/88SE com silicificação associada.

Outro aspecto importante é que a direção N35E é comumente preenchida (figura 37), configurando diques e, por vezes, apófise de sienito intrudido em seus planos. O dique de rocha máfica de espessura centimétrica (~50cm a 01m) do ponto TFS012 possui fraturamento conjugado. O contato do dique com o sienito é N30E/75NW. Esse fraturamento caracteriza-se por juntas fechadas a pouco abertas, sem preenchimento, configurando, dessa forma, fraturas de cisalhamento. O espaçamento entre as juntas é centimétrico (~5cm), sendo a fratura vertical menos densa, com espaçamento de aproximadamente (~ 15cm).

Interessante destacar que localmente, no ponto TFS020 forma estrutura em flor, com planos secundários de falhamento, configurando, por vezes, fraturas escalonadas, com presença de rocha fortemente brechada, inclusive com formação de farinha de rocha (figura 38).



Figura 38: Aspecto da rocha fortemente intemperizada no plano N15W/75SW associado ao plano principal da estrutura em flor de direção N64E/45SE.

3.7.4.1 Normais: Família N30-60E

Essa família ocorre com destaque no ponto TFS012, configurando transtração, como estrutura plano-paralela de direção NE-SW com aproximadamente 30m de extensão lateral por aproximadamente 3m de altura. Esse plano é tido como principal Y enquanto que possui fraturas P associadas. Por vezes, esse plano principal forma estruturas em flor com fraturas escalonadas associadas. Há presença de estrutura em flor com fraturas indicando movimentação normal dos blocos. Nessa superfície retilínea se observa que houve percolação de fluidos e movimentos que causaram a cominuição da rocha e alteração acentuada, configurando na rocha um aspecto frágil e cor amarelada, bem como cristalização de caulinita onde estão impressas estrias de atrito. Nesse argilomineral ocorrem estrias com orientações diversas, de horizontais, oblíquos a verticais. Planos de fraturas paralelos entre si encapsulam brechas de moagem fina com eventual fluxo

cataclástico. O conjunto de estrias caracteriza cinemática de falha normal a transtracional.

3.7.4.2 Transcorrências Dextrais: Família N30-60E

A direção N30E aparece com frequência com cinemática dextra configurando falhas R do plano principal Y dado pela direção N60E. No ponto TFS018 (figura 39) ocorre como estrutura em flor associada ao plano N73W/85NE. Na região da estrutura em flor, a rocha está fortemente cataclasada, configurando brecha de falha e até *gouge*.



Figura 39: Estrutura em flor do ponto TFS018 com predominância do lado NW, N73W/85NE.

No ponto TFS020, a estrutura N35E ocorre preenchida por provável traquito e, nas bordas, há indícios de movimentação, indicando que houve reativação pós-intrusão do dique. Essa estrutura desloca falha dextra de direção N40W e estrutura de direção N70W.

3.7.4.3 Transcorrências Sinistras: Família N30-60E

Plano preenchido localmente por sílica amorfa cinza escuro, conforme figura 40-a com cinemática lateral esquerda, figura 40-b (vista em planta).

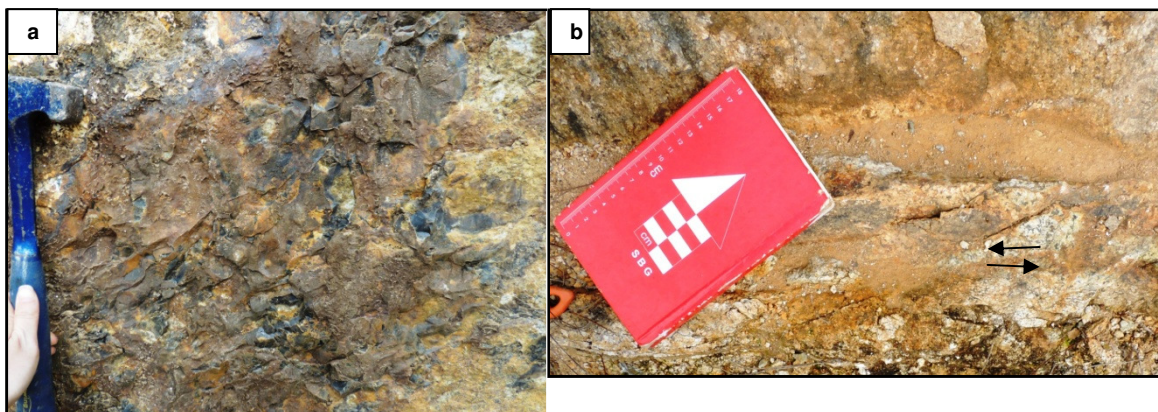


Figura 40: a) Plano de direção N60E tido como principal, com preenchimento de sílica amorfa cinza escuro com movimentação lateral esquerda dada pela relação das fraturas R e Y. b) Deslocamento lateral esquerdo da estrutura de direção N60E (Y) dado pela relação entre R e Y.

Em campo, essa estrutura ocorre com aproximadamente 6-8m de altura por 30m de extensão lateral. A superfície é irregular, ondulada, com presença de fraturas que fazem ângulo aproximado de 15-20° que aparentam mergulhar para dentro da estrutura principal, configurando estruturas R. Há presença de estrutura em colher (figura 41), que indica movimentação lateral esquerda. Outra evidência de movimentação são fraturas R indicando movimentação sinistral.



Figura 41: Estrutura em colher do plano Y com indicação de movimentação lateral esquerda.

Tanto o plano principal quanto o R estão preenchidos por argila caulinizada branca. Essa fratura corta o dique N-S de provável traquito com movimentação lateral direita. Ou seja, ocorrem dois eventos deformacionais, o

que permite dizer que a deformação lateral direita é mais nova, visto que corta o dique de provável traquito de direção NS, o qual se encontra deslocado anteriormente pela transcorrência sinistral N50E, com rejeito centimétrico. No ponto TFS019 apresenta movimentação lateral esquerda e ocorre conjugada com a família N45W. No ponto TFS018 (figura 42), ocorre preenchida por veio de pseudotaquilito (?) de dimensões centimétricas.



Figura 42: Plano sinistral da estrutura N60E/80NW com sigmoide indicando cinemática sinistral.

No plano da estrutura em flor de direção principal N60E ocorre faixa de aproximadamente 1cm de epidoto fraturado. Observar que ao lado do epidoto a rocha está fortemente intemperizada, com presença, inclusive de caulim, (figura 43-a). E aspecto em campo, no plano irregular de direção N60E, aspecto entre fraturas Y e R (figura 43-b). As fraturas R são as que formam um ângulo que aparenta mergulhar para dentro da estrutura Y principal. Importante mencionar que essa estrutura, por sua irregularidade e rugosidade, possui localmente medidas que chegam a N80E.

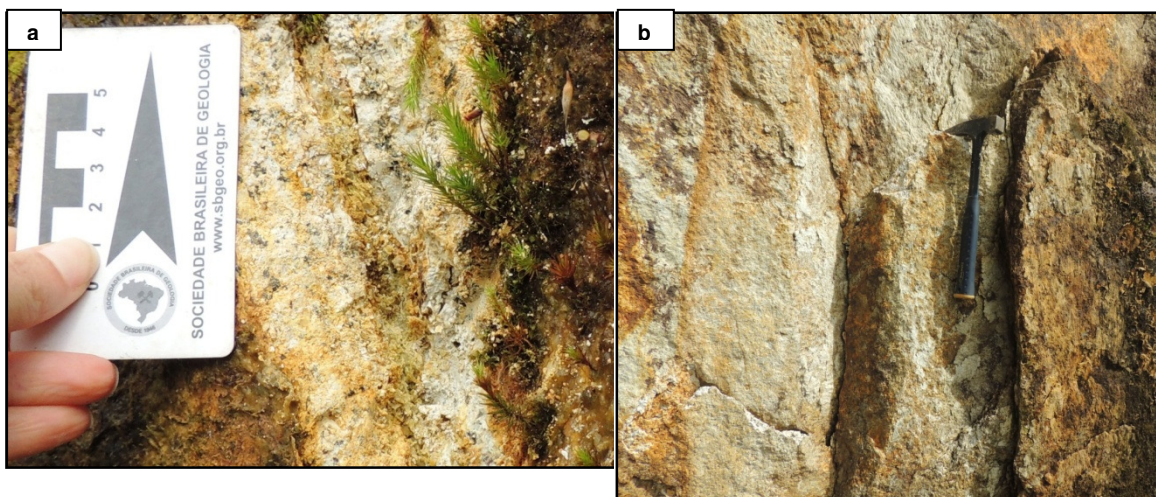


Figura 43: a) Presença de epidoto fraturado em plano de falha da estrutura em flor de direção principal N60E. b) Plano irregular de direção N60E, aspecto entre fraturas Y e R. As fraturas R são as que formam um ângulo que aparenta mergulhar para dentro da estrutura Y principal.

3.7.5 Sistema De Fraturas N-S: Família N30E-30W

Esse sistema ocorre em praticamente todos os afloramentos, configurando, no ponto TFS014, falhamentos inversos associados ao plano de reativação da foliação de direção N30E.

A família, predominantemente de direção N-S, aparece no ponto TFS008 caracterizada em zona de falha centimétrica, cujo perfil possui traçado retilíneo a curvilinear e com brecha de falha associada. Nas proximidades dessa falha a rocha encontra-se fortemente alterada e cominuída. No ponto TFS012 ocorre preenchida por epidoto e preenchida por dique centimétrico de rocha cinza afanítica, provável traquito.

Quando quase N-S aparece como conjugada da família E-W nos pontos TFS008, TFS009, TFS017, TFS019 e TFS022. Ocorre preenchida por óxido de Fe e Mn no ponto TFS017 e TFS022. Já nos pontos TFS012 e TFS018 ocorre como fratura P da família E-W.

Localmente, no ponto TFS012 ocorre conjugada com as falhas de direção N45E e N45W e no ponto TFS021 ocorre cataclasando fortemente o sienito, formando zona de dano de aproximadamente 10cm (figura 44), que apresenta provável óxido de Mn e Fe preenchendo o plano de falha.



Figura 44: Plano de falha NS com zona de dano de aproximadamente 10cm e forte cataclase associada, vista em perfil.

Ocorrem sigmoides métricos associados a essa estrutura, como pode ser observado na figura 45, além de estruturas em flor. Na figura 47-b pode-se observar a estrutura N-S em perfil com seu traçado curvilíneo.



Figura 45: Sigmoide métrico que marca a falha de atitude NS/85NW

As falhas de direções variáveis entre N25E e N30E, no ponto TFS012, aparecem como estruturas R no plano principal Y (N50E). Há preenchimento por caulim e estrias impressas nessa superfície e ocorre uma segunda movimentação lateral direita dada pelos ressaltos impressos na R. Por vezes,

apresentam-se como fraturas com espaçamento centimétrico, preenchidas por material preto afanítico (pseudotaquilito?) e preenchidas por dique de provável traquito, fino a muito fino, cinza claro a cinza escuro, com espessura aparente de 1m. O dique acha-se deslocado por falha de atitude N50E/85SE com movimentação lateral direita (figura 46-a). Em 46-b há a presença de estrias subhorizontais impressas em caulim.

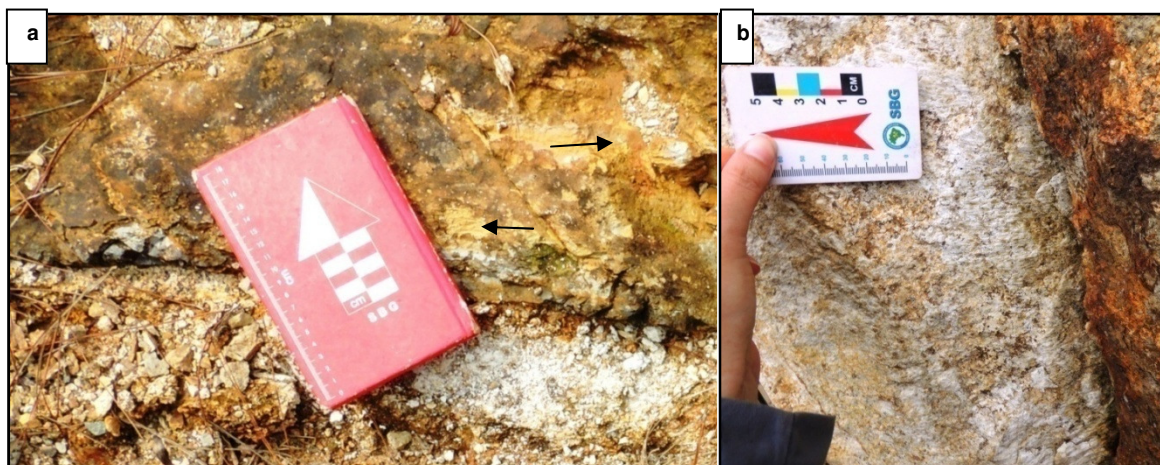


Figura 46:a) Dique de provável traquito cortado pela estrutura Y com movimentação lateral direita. A relação de movimentação é dada pela fraturas orientadas segundo a caderneta, vista em planta.b) Presença de estria subhorizontal no plano R impressas no argilomineral branco, vista em perfil.

No ponto TFS-017 (figura 47-a) há fraturas finas, pouco extensas, lisas a pouco rugosas, preenchidas por material de cor escura (óxidos ou pseudotaquilito), penetrativa localmente, com espaçamento entre 3-15cm. No ponto TFS019 ocorre fratura preenchida por material silicificado com aproximadamente 1cm de espessura aparente e conjugada associada, também preenchida por material silicoso. Por vezes, a direção N20W aparece associada à estruturação em flor da falha de direção N60E sob forma de fraturas escalonadas.

Essa estruturação corta os planos de direção N50E, o que permite dizer que ela é cronologicamente mais nova.

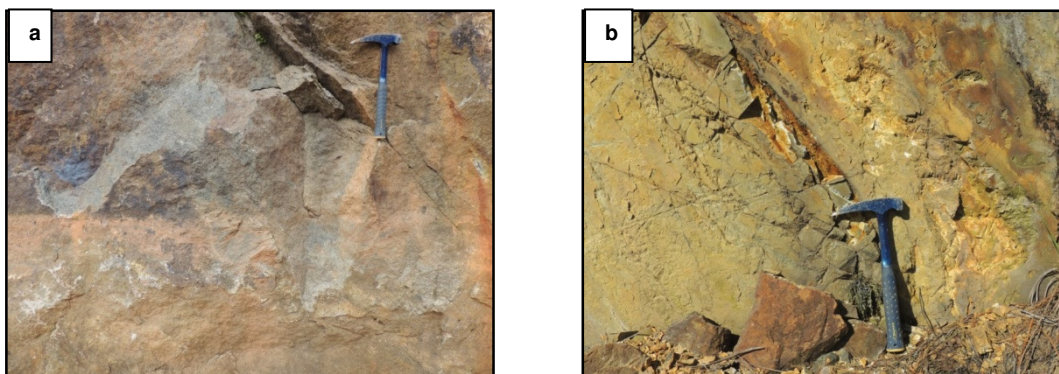


Figura 47: a) Fraturas com espaçamento centimétrico a milimétrico e preenchida por óxidos de Fe e Mn, vista em perfil; b) aspecto da falha NS no ponto TFS008, vista em perfil.

3.7.5.1 Normais: Família N30E-30W

Localmente, no ponto TFS020 há estrutura em "colher" que indica movimentação normal, associada à falha em flor de direção N64E, secundária, mas que indica um regime transtracional.

3.7.5.2 Transcorrências Destrais: Família N30E-30W

Aparece localmente associada à estrutura em flor de direção aproximada N60E, com movimentação lateral direita e faixa de espessura aparente de 40cm de zona de dano e rocha muito cataclasada e alterada associada. A movimentação lateral direita é posterior à movimentação lateral esquerda, fato observado em estrias e ressaltos com diferentes movimentações, sendo a primeira sinistral.

3.7.5.3 Transcorrências Sinistrais: Família N30E-30W

Ocorrem localmente, por exemplo, no ponto TFS017, com presença de estrias marcadas em argilomineral branco. Esse plano é muito liso, contínuo e reto e associado a ele há percolação de óxido de ferro, deixando a superfície preta. Os ressaltos indicam movimento lateral esquerdo. No ponto TFS018 há a presença de veios de direção N-S preenchidos por material preto e com espessura aparente milimétrica. Paralelamente, há veios com porções

leucocráticas. Há acumulações de mineral preto, euédrico, com dimensões centimétricas e orientados preferencialmente para N-S. Por vezes, esse veio milimétrico de material escuro forma feições sigmoidais indicativas de movimentação lateral esquerda. Essa estrutura desloca veios e vênulas pré-existentes.

Localmente, no ponto TFS020, a estruturação de direção média N30W possui movimentação lateral esquerda e integra estrutura em flor. Nesses planos há duas direções de movimentação de estrias, sugerindo duas fases de movimentação. Quando vista em planta, possui preenchimento por material quartzo-feldspático e desloca vênulas de material preto com movimentação lateral esquerda (figura 48).



Figura 48: Falha NS que desloca vênulas de material preto (pseudotaquilito) com sentido lateral esquerdo, vista em planta.

A estruturação de direção N20-30W forma falha que em planta apresenta configuração sinuosa, sendo, por vezes, formada por vênula de pseudotaquilito que desloca veio de microssienito (figura 49). A mesma direção N20W desloca vênula de pseudotaquilito com rejeito de 4cm. A movimentação é sinistral formada por sigmoides de pseudotaquilito e microssienito.



Figura 49: Estrutura N20W preenchida por vênula de pseudotaquilito que desloca veio de microssienito, vista em planta.

3.7.6 Sistema de Fraturas NW-SW: Família N30-60W

Este sistema apresenta pouca representatividade em afloramento, com poucas exposições. Quando assume caráter normal apresenta orientação N30W e predominantemente N45W para as transcorrências.

O sistema de fraturas/falhas que ocorrem no Complexo Alcalino Tunas, possui direção preferencial N45W com predominância de altos ângulos de mergulho, aproximando-se normalmente dos 90° (figura 50). Essas estruturas ocorrem nos pontos TFS001, TFS002, TFS005, TFS009, TFS010, TFS012, TFS013, TFS014, TFS019, TFS020 e TFS021. Comparativamente com as demais famílias, é a que tem menos expressividade em campo, sendo melhor visualizadas em imagens de satélite e na magnetometria. Predomina a cinemática sinistral.



Figura 50: Aspecto do plano NW-SE no ponto TFS017. A atitude do espelho de falha é N55W/80NE.

No ponto TFS021 (figura 51), aparece como o contato do Complexo Alcalino Tunas.



Figura 51: Falha NW-SE que marca o contato norte do Complexo Alcalino Tunas. Observar flecha preta que marca o espelho de falha NW-SE

Localmente esta família parece ser conjugada com a família N30E-30W do ponto TFS014 e como conjugada em TFS021 conforme figura 52.

3.7.6.3 Transcorrências Sinistras: Família N30-60W

Apresenta altos ângulos de mergulhos, se aproximando da verticalidade com estrias de baixo ângulo, indicando transcorrência com movimentação lateral esquerda. São densas a pouco densas (ponto TFS001) e são falhas métricas, com espelhos planares a curvilineares, de regime transcorrente a transtracional, mostrando estrutura em flor negativa que gera brechamento e gouge em uma zona de dano lateral centimétrica. Apresenta reativação e há dois ou três planos dessas falhas cortando tanto a rocha encaixante quanto a alcalina.

3.7.7 Sistema de Fraturas E-W: Família N60-90E E N60-90W

As falhas E-W (figura 56) são predominantemente transcorrências, destrais ou sinistras, muito embora possam existir com cinemática normal. Em campo, esse sistema é representativo, por vezes formando vales retilíneos e cristas alongadas (figura 54). Sistema de fraturas E-W possui duas movimentações distintas, inicial sinistral e final destal, conforme observado no ponto TFS020. Ocorre nos pontos TFS002, TFS008, TFS009, TFS010, TFS011, TFS014, TFS017, TFS018, TFS019, TFS020, TFS021 E TFS022.



Figura 54: Crista de direção E-W. Visada para Sul (TFS017)

No ponto TFS021 há planos de cisalhamento de direção N65E com espessura de dano aparente de 10cm, com rocha cataclasada associada (figura 55).



Figura 55: Plano de cisalhamento com atitude N65E/80NW do ponto TFS021, onde foi retirado a amostra para caracterização química e estrutural dos óxidos que preenchem a falha, vista em perfil.

Essa falha possui movimentação principal lateral direita e é localmente conjugada com a família N-S (média de N30E) no ponto TFS008 e TFS022. Assume caráter normal no TFS012 e forma a estrutura principal Y, sendo conjugada com a N41E/89NW (P). Preenchida localmente por epídoto (TFS012).

Estruturas em flor estão associadas predominantemente às transcorrências com cinemática destal, e localmente ao sistema de transcorrência lateral esquerdo.

No ponto TFS009, mostra apófise de material ígneo com xenólitos e enclaves cujas fraturas mostram terminação em rabo de cavalo, sugerindo uma movimentação lateral direita.

No ponto TFS020, a estrutura E-W é deslocada pela falha N40W/87NE, o que sugere que houve reativação da estrutura de direção NW-SE. Nesse mesmo ponto a estrutura de direção N70W é seccionada pela estrutura de direção N30E/87NW, sugerindo que houve movimentação posterior da estruturação N30E.

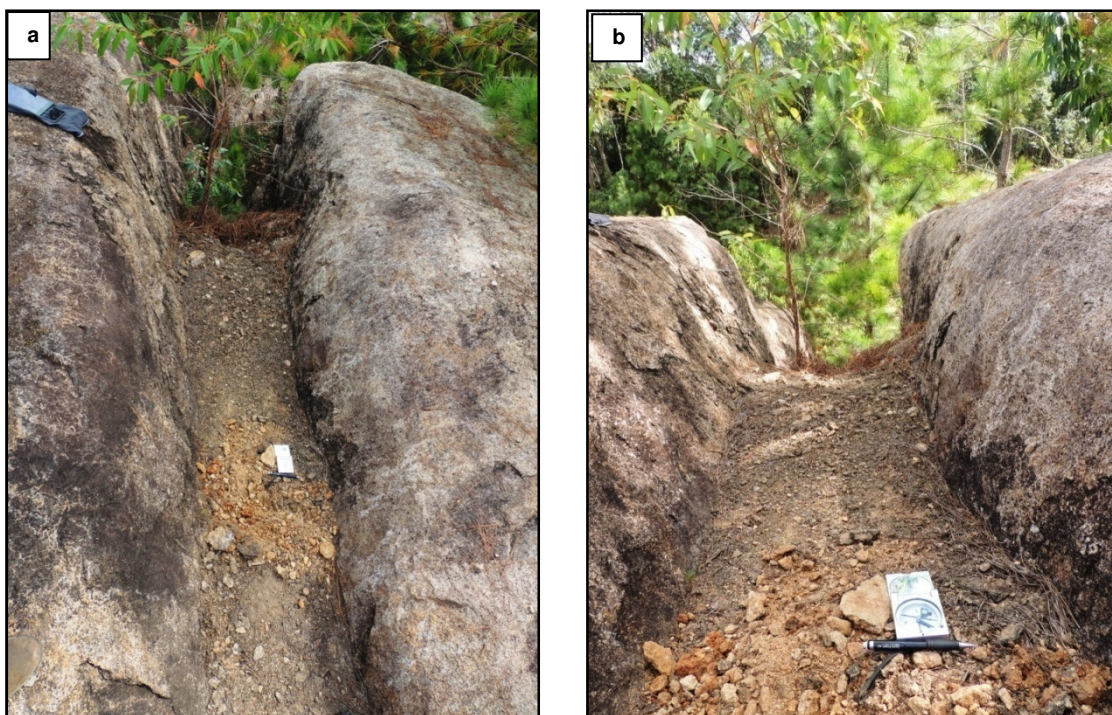


Figura 56: a) e b) Zona de cisalhamento de direção aproximadamente EW com presença de zona de dano de 70cm de largura.

3.7.7.1 Normais: Família N60-90E e N60-90W

Conforme figura 57, as falhas normais ocorrem como descontinuidade retilínea, rugosa com cerca de 30 m de extensão (plano visível), que apresenta percolação de fluidos e cominuição da rocha associada a uma alteração acentuada, de cor amarelada, além de presença de caulinita. Nesse argilomineral ocorrem estrias com orientações diversas, indo de horizontais a verticais. Planos de fraturas paralelos entre si geram brechas de moagem fina com eventual fluxo cataclástico. Observa-se conjunto de estrias mostrando cinemática de falha normal a transtracional.



Figura 57: Aspecto do plano N60-WE em afloramento TFS012. Notar espelho de falha retilíneo e rugoso.

No plano, impresso na caulinita, ocorrem estrias com variadas orientações, com *rakes* desde horizontais até verticais, conforme pode ser visualizado na figura 58.



Figura 58: Detalhe de estrias verticais em plano E-W impressas em caulinita, vista em perfil

3.7.7.2 Transcorrências Destrais: Família N60-90E e N60-90W

Falhas transcorrentes destrais ocorrem nos pontos TFS014, TFS018 e TFS020, formando localmente plano preenchido por pseudotaquilito nas

bordas, feldspato potássico, anfibólio e magnetita no centro. Esse veio desloca veios e vênulas de pseudotaquilito (figura 59).



Figura 59: Estrutura de direção N65W com cinemática destrai, vista em planta

3.7.7.3 Transcorrências Sinistras: Família N60-90E e N60-90W

Essas famílias configuram localmente (TFS017) juntas de cisalhamento, fraturas irregulares, curvilineares, rugosas, abertas, com preenchimento de provável carbonato, mostrando geometria sigmoidal em superfície. Trata-se do plano de falha principal com presença de microbrechamento, superfície brilhante e indicador de movimentação anti-horária

No ponto TFS022 essa estrutura chama a atenção por sua retilinearidade e zona de dano associada com espessura de 70cm, com planos conjugados de direção N60E e N60W (figura 60-a), fraturas R, indicando movimentação sinistral (figura 60-b), bem como marcas em crescente em perfil (figura 61) e feições sigmoidais vistas em planta (figura 62).



Figura 60: a) Ressaltos falsos (fraturas R) no plano N60W associado à estrutura E-W, vista em perfil. b) Fraturas R em planta no plano E-W, vista em planta



Figura 61: Marca em crescente em perfil, no plano E-W, indicando movimentação lateral esquerda



Figura 62: Família E-W: sigmoide com cinemática lateral esquerda, vista em planta

3.8 INDICADORES CINEMÁTICOS

Em campo, a estrutura de direção geral E-W, no ponto TFS012 possui estrias subhorizontais a verticais, indicando que houve mais de um evento deformacional. Essas estrias encontram-se impressas em caulinita (ver difratogramas nos anexos 01, 02 e 03). Ao observar as figuras 63, 64, 65 e 66, o que se percebe é que o último evento que afetou a amostra TFS012 foi a transcorrência lateral direita, conforme pode-se observar a partir de *gash* (figuras 65 e 66) e também por fraturas secundárias (figura 64). Importante ressaltar que essa evidência foi vista em campo. A figura 63 mostra com detalhe as estrias que na fotomicrografia são representadas pelas linhas cinza claro, conforme flechas pretas indicam.

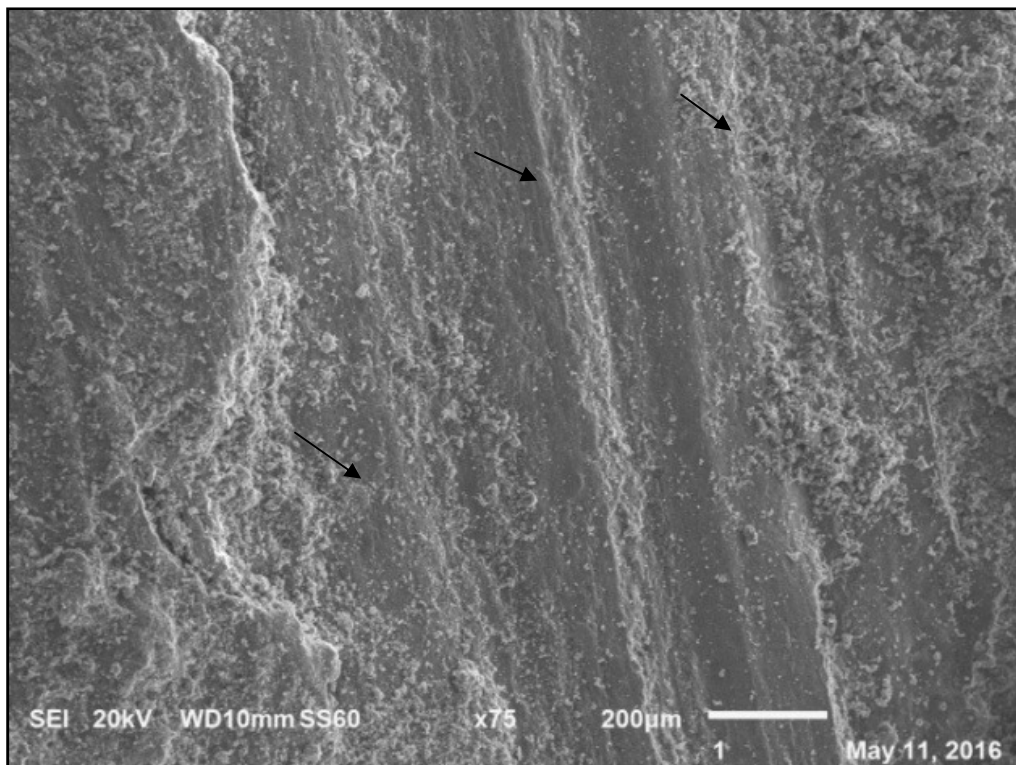


Figura 63 Estrias (linhas retas em cinza claro) impressas em caulinita na amostra TFS012

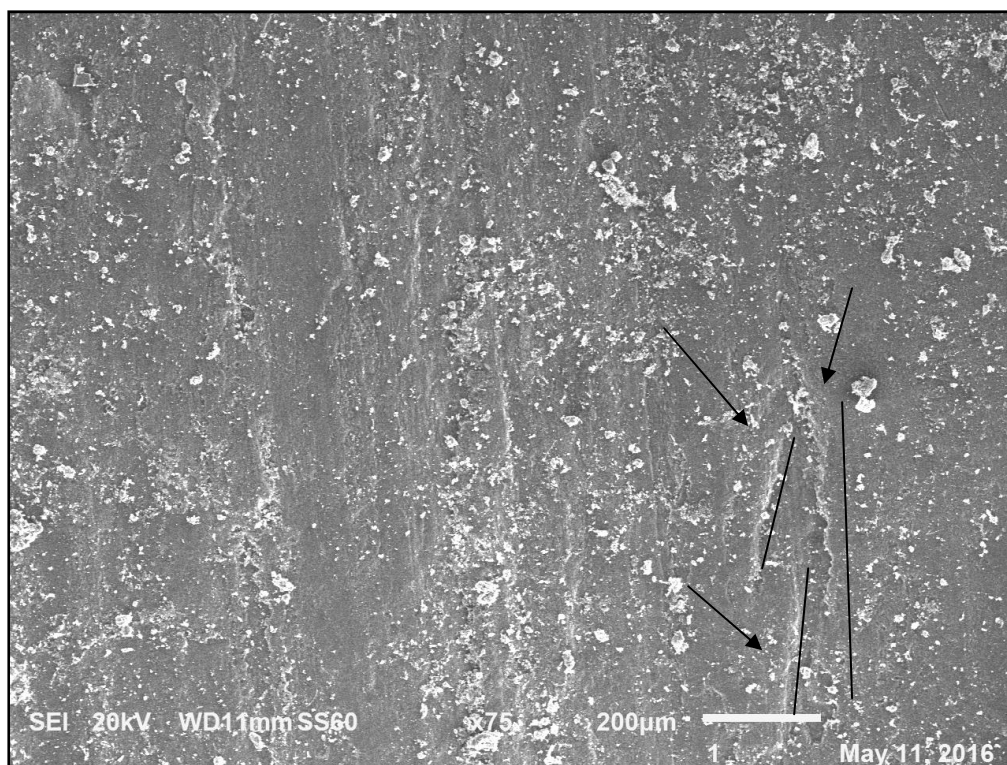


Figura 64: Estrias impressas em caulinita na amostra TFS012, notar fraturas secundárias configurando movimentação lateral direita.

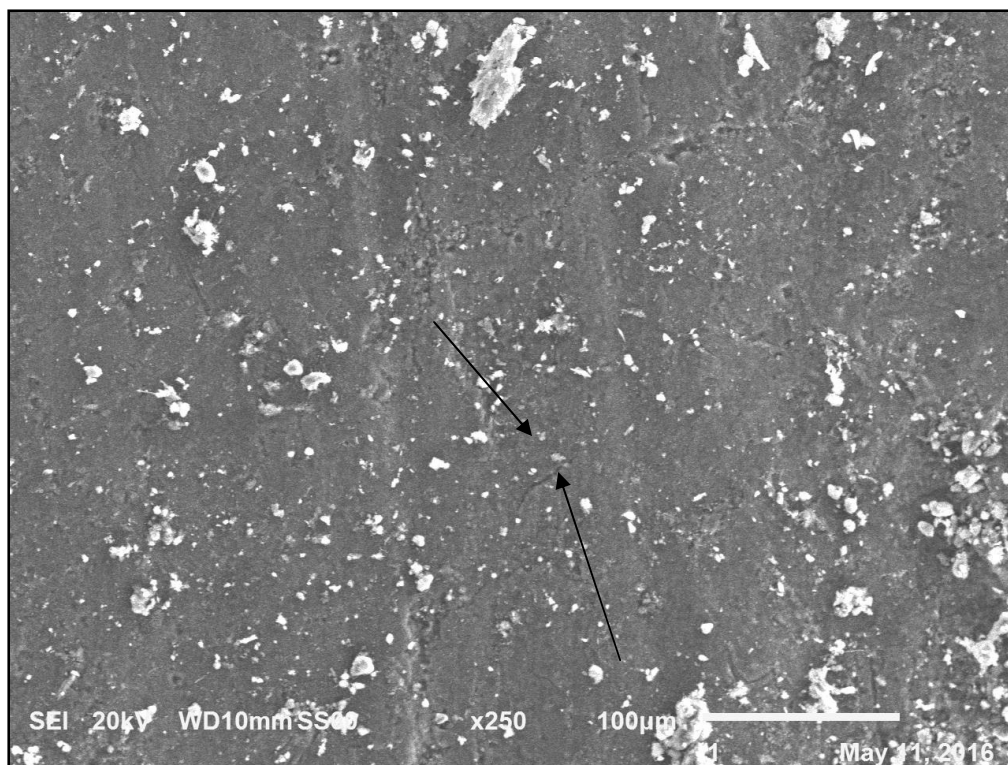


Figura 65: Notar *gash* indicativo de movimentação lateral direita em amostra TFS012. Aumento de 250x

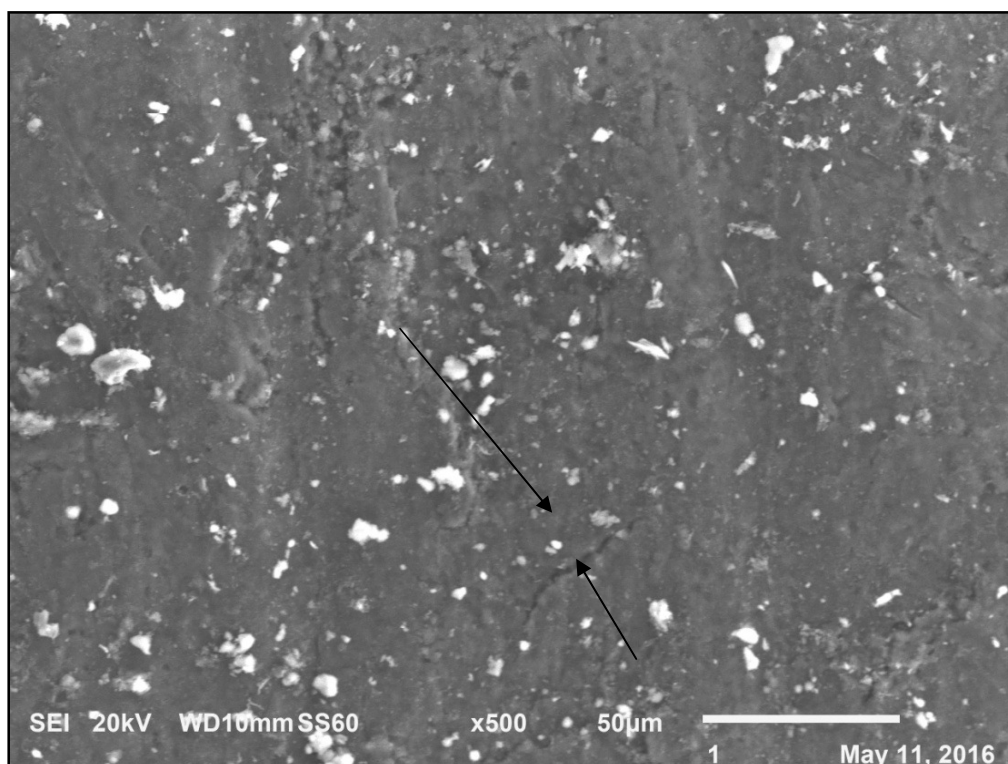


Figura 66: Notar *gash* indicativo de movimentação lateral direita em amostra TFS012. Aumento de 500x

A utilização de MEV na caracterização de microestruturas pode ser utilizada para detalhar em microescala as estruturas observadas em campo e

quando essas imagens são devidamente orientadas, pode-se observar qual evento veio antes pela simples observação da sobreposição das estruturas. Por exemplo, fraturas de direção NE-SW cortadas por fraturas NW-SE. Como as rochas cataclásticas possuem forte caráter fractal, a utilização de imagens MEV podem auxiliar em interpretações estruturais.

3.9 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA: ESPECTROMETRIA DE RAIOS-X

Para a caracterização química dos constituintes das amostras TFS012, TFS019 e TFS021 foram realizadas análises por difração de raios-X.

O plano de falha da amostra TFS012 é aproximadamente E-W, caracterizado como transcorrência destal e constituído por caulinita, feldspato alcalino e quartzo. Detalhes dos difratogramas encontram-se em anexo. Para verificar qual argilomineral tem na amostra, é realizado o tratamento da amostra, de acordo com procedimentos laboratoriais, resultado em caulinita, conforme figura 67. Nos difratogramas que se seguem, N significa amostra Normal, MU após passar por aquecimento da mufla e G após saturada em glicerol que faz com que as folhas dos argilominerais se expandam.

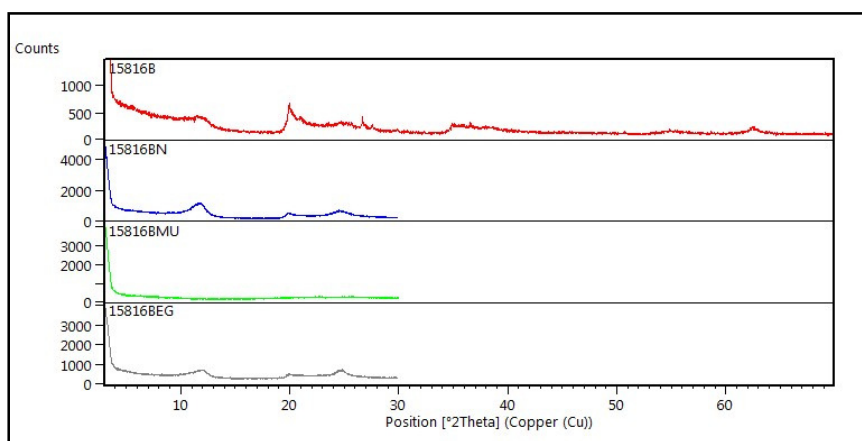


Figura 67: Difratograma para a amostra TFS012 após tratamento, revelando se tratar de caulinita

A amostra TFS019 (figura 68) possui como resultado os seguintes minerais: grupo das micas, plagioclásio, grupo dos feldspatos alcalinos e grupo do piroxênio. Essa composição da amostra TFS019 é encontrada no plano de falha de direção N-S.

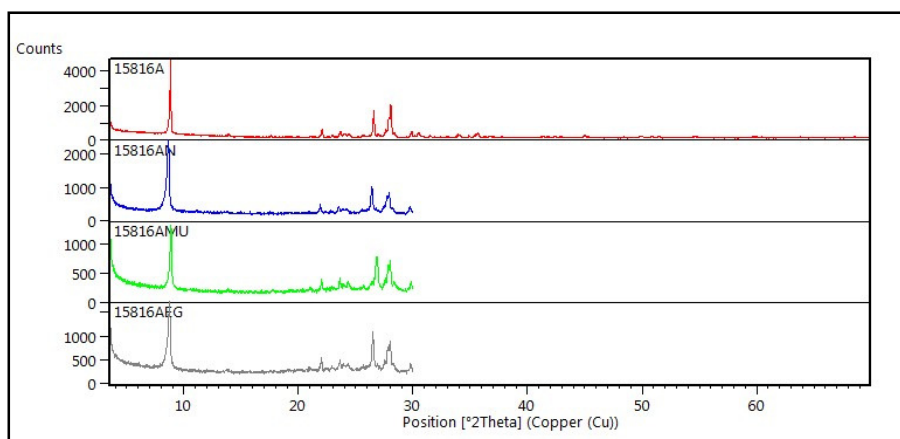


Figura 68: Difratoograma da amostra TFS019 após tratamento.

A amostra TFS021 (figura 69) possui como resultado os seguintes minerais: grupo da caulinita e da illita, grupo do plagioclásio, grupo dos feldspatos alcalinos quartzo. Essa composição da amostra TFS021 é encontrada no plano de falha de direção N65E com forte cataclase associada.

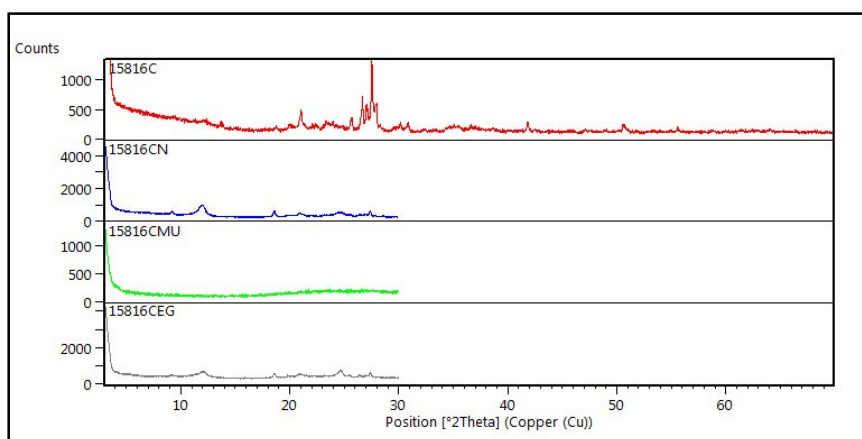


Figura 69: Difratoograma da amostra TFS021 após tratamento com presença de caulinita e illita.

4 ANÁLISE DE PALEOTENSÕES

A análise dinâmica determina as tensões agindo sobre um corpo, gerando esforço que se for suficientemente alto, movimenta o corpo rochoso. Ou seja, a análise dinâmica, em geologia estrutural, trata da interação entre esforço e cinemática e assim o dado fundamental para realizar a análise de paleoesforços são observações cinemáticas das falhas. (Fossen, 2012).

Nesse contexto, as estrias encontradas em campo indicam a direção do rejeito sendo necessário mais critérios para a determinação do sentido do

rejeito, se reversos ou normais, se sinistrais ou destrais. Por outro lado, as fraturas subsidiárias que ocorrem ao longo do plano de uma falha podem apresentar um arranjo geométrico que indica a direção do rejeito da falha (Petit, 1987; Fossen, 2012). As figuras 70 e 71 resumem o quadro das principais estruturas secundárias que ocorrem ao longo de falha principal M.

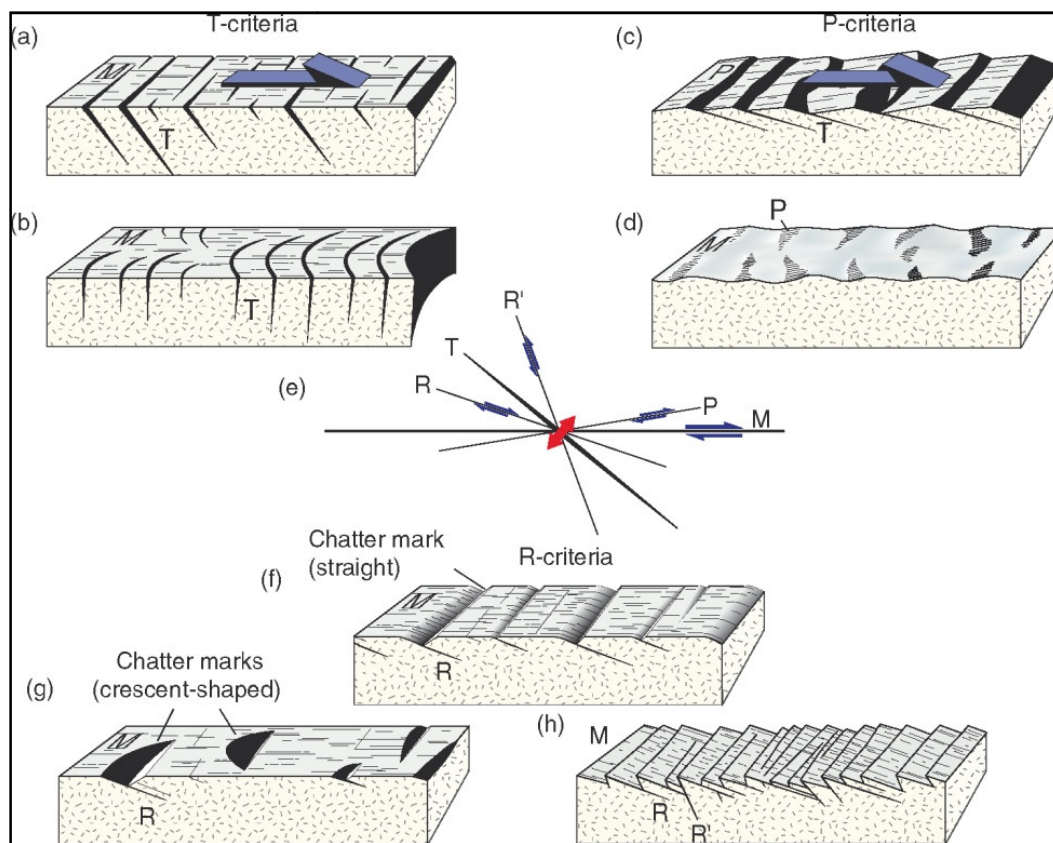


Figura 70: Critérios cinemáticos ao longo de uma falha destral. Fonte: Petit 1987 in Fossen, 2012

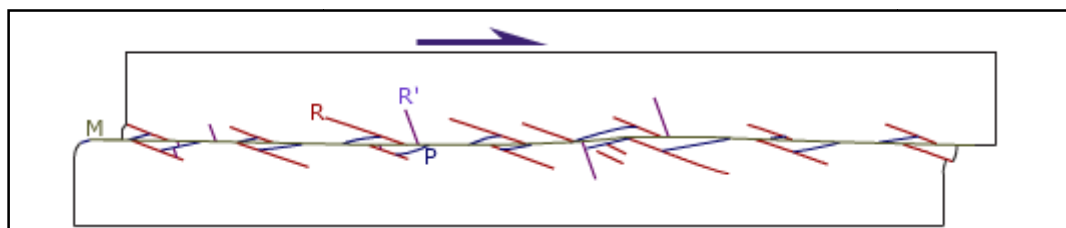


Figura 71: Critérios cinemáticos ao longo de uma falha destral. Fonte: Petit 1987 in Fossen, 2012

Em campo é preciso muito cuidado para reconhecer e utilizar esses critérios, pois às vezes é facilmente confundível, por exemplo, fraturas R com ressaltos ou vice-versa.

O cálculo dos paleotensores que atuaram na formação das estruturas rúpteis do Complexo Alcalino Tunas é realizado com base em dados pareados de planos de falha e estrias associadas, bem como o sentido do rejeito. Assim, para determinar o campo de tensões atuantes no maciço, foi utilizado o software *Wintensor* que se utiliza do método dos diedros retos de Angelier & Mechler (1977). Nesse contexto, as falhas geradas em um mesmo contexto tectônico possuem movimentação resultante de estado de tensão específico uniforme para o volume rochoso considerado. É possível definir, em escala global, três eixos principais de um evento tectônico, ortogonais entre si e que correspondem à compressão ou tensão máxima (σ_1), intermediária (σ_2) e à distensão máxima ou compressão mínima (σ_3) (Salamuni, 1998). Como pode ser observado nas figuras que se seguem nesse capítulo, os eixos de esforços são representados por círculos (σ_1), triângulos (σ_2) e quadrados (σ_3). Foi definido o campo de paleotensão calculado para as diferentes fases de deformação.

4.1 ANÁLISE DINÂMICA: APRESENTAÇÃO DOS DADOS CALCULADOS

O campo de paleotensões foi confeccionado para todas as falhas normais, transcorrências sinistrais e para todas as transcorrências destrais da área, definindo assim o campo de esforço para cada regime tectônico. Em seguida, foram separados sistemas de fraturas e realizados o cálculo de campo de paleotensão para cada sistema, subdividindo-os em normais, sinistrais e destrais. O *software* utilizado calcula os eixos de paleotensão para falhas conjugadas, portanto, quando em campo foi possível reconhecer essa relação entre as falhas, foi utilizado esses dados como apoio adicional às interpretações.

Para facilitar as discussões posteriores, as falhas foram separadas arbitrariamente conforme a seguinte nomenclatura:

- i. Sistema de fraturas E-W: Famílias N60-90E e N60-90W
- ii. Sistema de fraturas NW-SE: Famílias N30-60W;.
- iii. Sistema de fraturas NE-SW: Famílias N30-60E;

iv. Sistema de fraturas N-S: Famílias N30-30W;

De um total de 358 medidas, 84 são do sistema de fraturas NE-SW, 112 medidas do sistema N-S, 63 do sistema NW-SE, enquanto que 99 são do sistema de fraturas E-W.

Na figura 72-a está representado o diagrama de eixo de paleotensão para todas as falhas normais da área do Complexo Alcalino Tunas. Na figura 76-b encontra-se representado as falhas normais do ponto TFS012. Se observa extensão que vai de NNE-SSW quase se aproximando de NE-SW. Observa-se também extensão NW-SE com eixo de maior tensão orientado quase verticalmente. O eixo de maior esforço σ_1 é N198/78, enquanto que o de menor esforço é σ_3 N304/03.

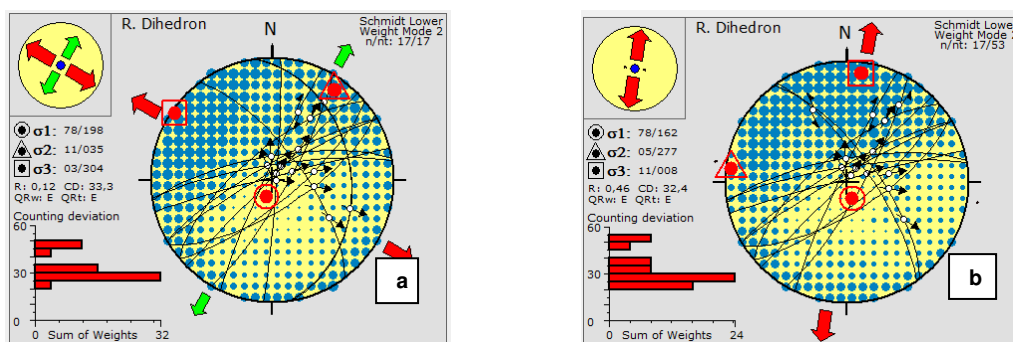


Figura 72:a) Diagrama para todas as normais; b) Diagrama para as normais do ponto TFS012

Quando se analisam todos os sistemas de falhas transcorrentes sinistrais, se observa que há distensão aproximada NW-SE, com eixo de maior esforço σ_1 N209/51 e eixo de menor esforço σ_3 N316/13, conforme figura 73.

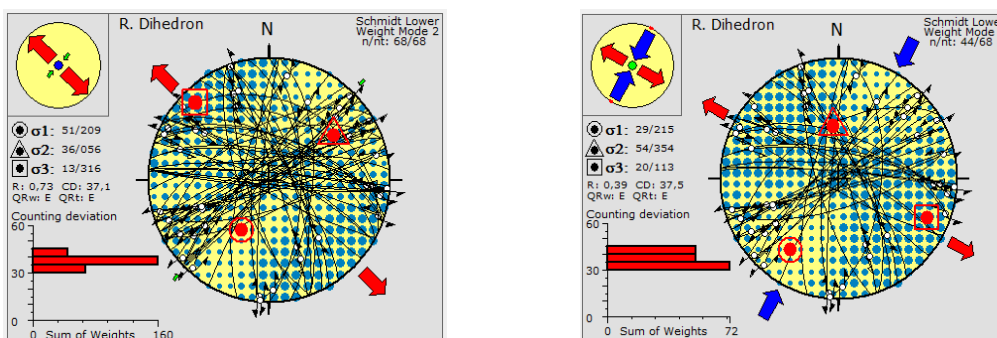


Figura 73: Todas as transcorrências sinistrais e ao lado todas as sinistrais com Ls

As transcorrências dextrais, por seu turno, são representadas na figura 74, onde claramente se observa predominância N30E e N70-80W, secundariamente ocorrem estruturas N40-50W. O diagrama de eixo de

paleotensões aponta para uma distensão (σ_3) NNE-SSW e uma compressão oblíqua.

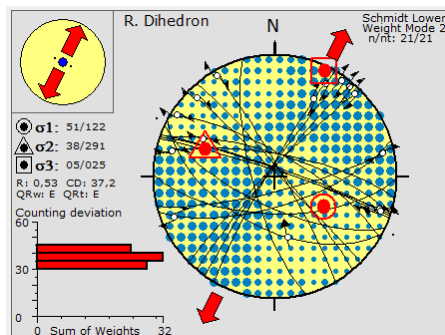


Figura 74: Falhas dextrais com eixo de paleotensão indicativo de distensão NNE-SSW

4.2 RESULTADOS SEPARADOS POR SISTEMA DE FRATURAS

Para melhor visualização dos resultados, as famílias foram separadas em sistemas de fraturas conforme segue.

4.2.1 Sistema de fraturas E-W: famílias N60-90E e N60-90W

O sistema de fraturas E-W corresponde às falhas compreendidas entre N60E-90E e N60W-90W.

O regime normal do sistema E-W (figura 75) em especial no ponto TFS012, está impresso em caulinita, o que permite dizer que o último evento que ocorreu na área foi a extensão NNE-SSE.

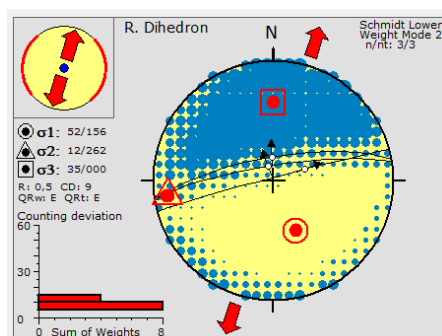


Figura 75: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas normais da família E-W

Na figura 76 está representado o diagrama de eixos de paleotensão para as falhas dextrais do sistema E-W, que apresenta como característica uma

movimentação inicial sinistral e final destrai. Este aspecto permite concluir que a compressão aproximadamente NE-SW, responsável pela formação das transcorrências E-W sinistras (figura 77), devem ser anteriores à compressão NW-SE, responsável pela formação das transcorrências E-W destrais.

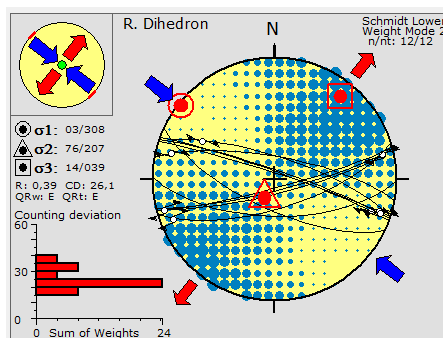


Figura 76: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas dextrais da família EW

O sistema E-W possui como primeira movimentação a transcorrência sinistral com eixos de paleotensão com compressão representada pelos eixos ENE-WSW e distensão aproximada NNW-SSE (figura 77).

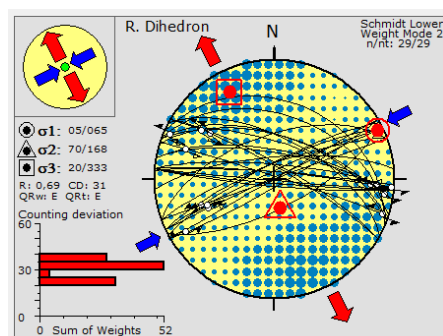


Figura 77: Diagrama de eixo de paleotensão para as transcorrências lateral esquerda da família E-W

4.2.2 Sistema de Fraturas NW-SE: Família N30-60W

Observa-se que o sistema de falhas NW-SE normais possui como eixo tração entre as direções NE-SW a NNE-WSE (figura 78). Esse sistema possui caráter normal/sinistral e é cortado pela estruturação N45W/88NE no ponto TFS012, configurando estruturas anteriores àquelas.

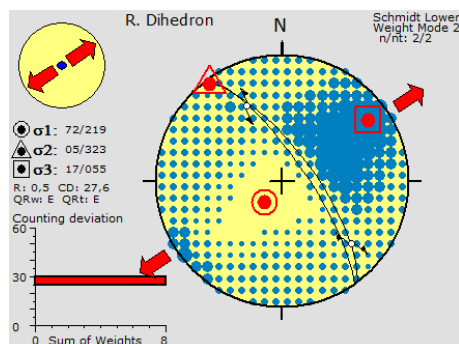


Figura 78: Diagrama de eixo de paleotensão para falhas normais da família N30W-60W

Observa-se que o sistema de falhas NW-SE transcorrente destal possui como eixo de compressão (σ_1) NNW-SSE e tração (σ_3) ENE-WSW (figura 79-a). Interessante destacar que esse sistema corta as famílias N30-60W sinistral, configurando assim estruturas mais novas. Assim, é possível concluir que a tração ENE-WSW é posterior à distensão NNW e tração aproximadamente E-W (ENE) das transcorrências sinistrais. Localmente, essa estruturação ocorre associada à falha N-S, conforme figura 79-b, que resulta no mesmo padrão de eixos de paleotensão.

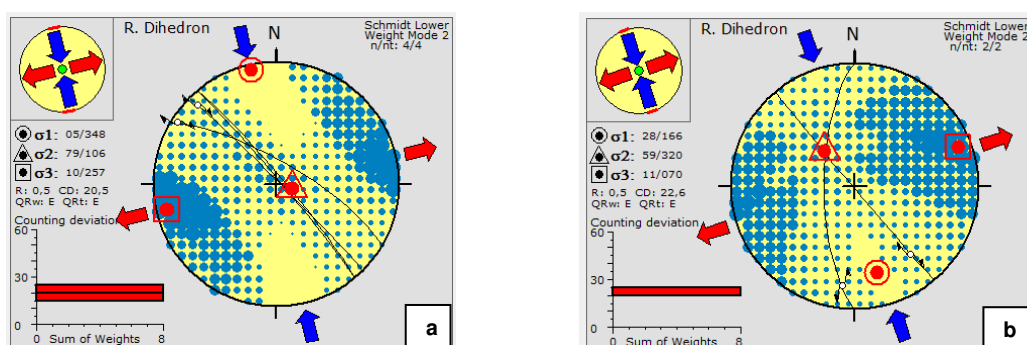


Figura 79: a) Lateral direito família NW-SE e b) estruturas conjugadas N40W/89SW (230/89), NS-70W (270/70) do ponto TFS021

As falhas sinistrais, como mencionado anteriormente, possuem eixos de tração NNW e compressão aproximadamente E-W (ENE), (figura 80-a).

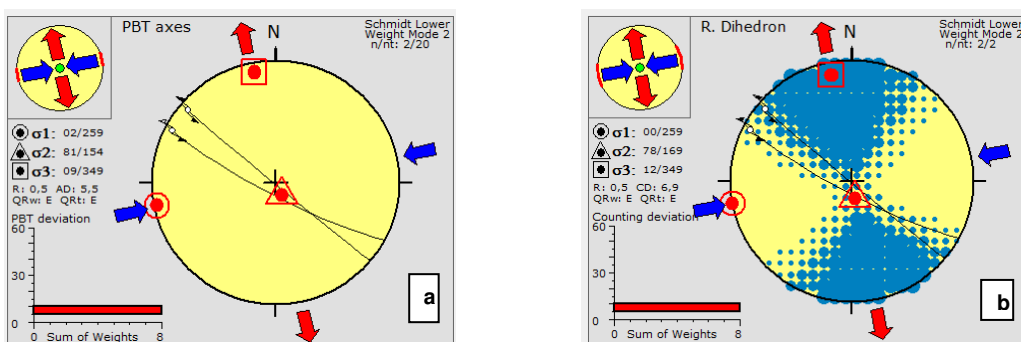


Figura 80: Ponto 1 para transcorrências sinistral do sistema N30W-60W; b) Falhas transcorrentes sinistrais do ponto TFS001 (família N40-60W)

4.2.3 Sistema de Fraturas NE-SW: Família N30E-60E

Na figura 81 é apresentado diagrama de eixo de paleotensão para as famílias N30E-60E normal, evidenciando que houve uma distensão aproximada NW-SE (σ_3) e a tensão principal (σ_1) é vertical.

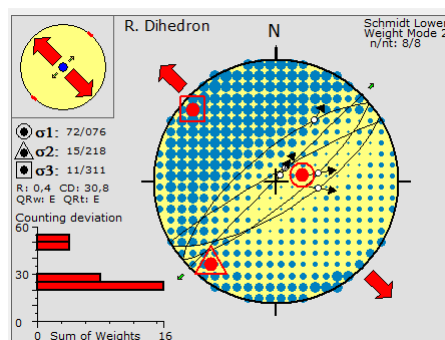


Figura 81: Diagrama de paleotensão para a família N30E-60E normais.

As falhas da família N30E-60E (figura 82), possuem como eixo de distensão (σ_3) NNW-SSE e compressão aproximada ENE-WSW. Interessante destacar que se tratam planos reativados.

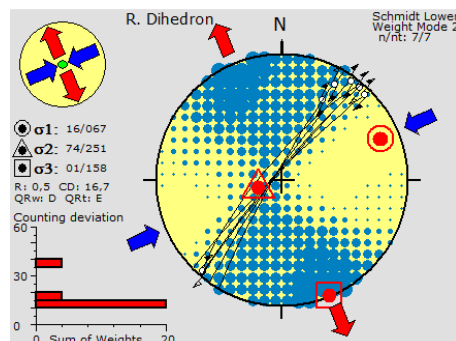


Figura 82: Diagrama de eixo de paleotensão para as transcorrências laterais direitas da família N30E

As transcorrências da família N30-60E (figura 83) resultaram em eixo de paleotensão com compressão (σ_1) NNE-SSW e distensão (σ_3) aproximada WNW-ESE

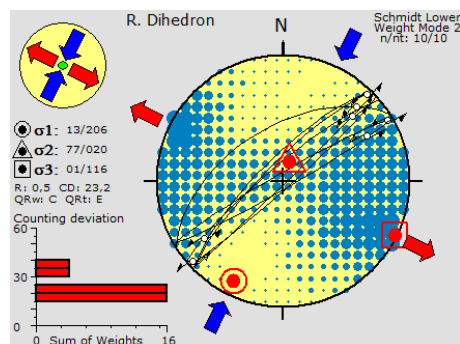


Figura 83: Diagrama de eixo de paleotensão para as transcorrências laterais esquerdas da família N30-N60E

4.2.4 Sistema de Fraturas N-S: Família N30E-30W

O diagrama de paleotensão para as falhas normais da família N30E-30W (figura 84), revelou distensão (σ_3) aproximadamente EW (ENE-WSW).

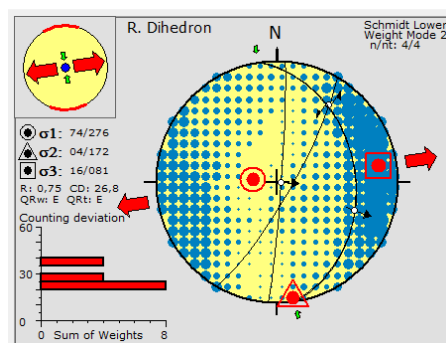


Figura 84: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas N-S.

O diagrama de paleotensão para as falhas transcorrentes destrais da família N30E-30W revelou distensão aproximadamente NNW-SSE e compressão NE-SW, conforme figura 85.

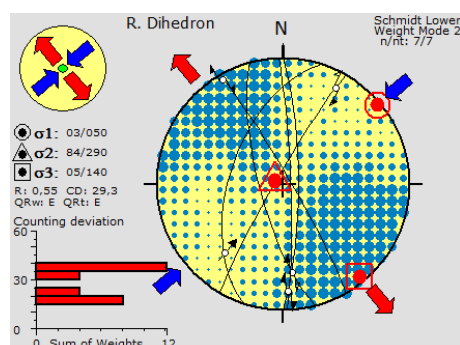


Figura 85: Diagrama de paleotensão para as falhas transcorrentes dextrais a família NS

4.2.4.1 Família N30E-30W: Transcorrências laterais esquerdas

O diagrama de paleotensão para as falhas transcorrentes sinistrais da família N30E-30W revelou distensão aproximadamente NE-SW e compressão aproximada NNW-SSE, conforme figura 86.

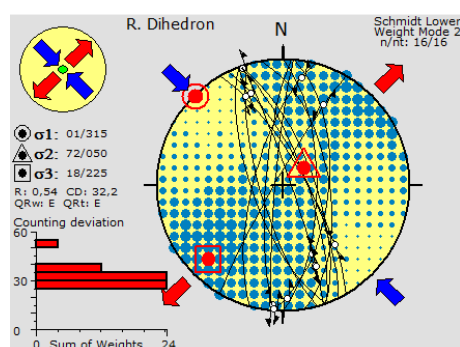


Figura 86: Diagrama de paleotensão para as falhas transcorrentes sinistrais a família NS

4.2.5 Conjugadas

Os diagramas representados na figura 87 revelam que a compressão (σ_1) aproximada N-S está associada às estruturas N50E sinistrais e N52W/86NE que ocorrem de forma conjugada e às falhas inversas do ponto TFS014 que aproveitaram o plano da foliação e o reativaram como falha inversa.

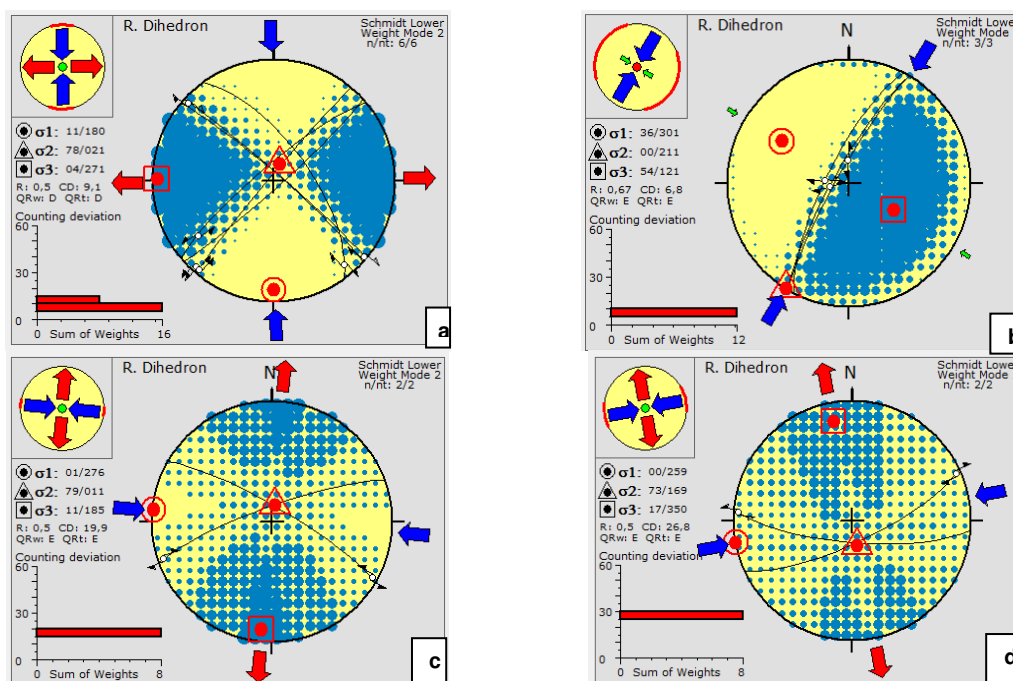


Figura 87: a) Diagrama das falhas N50E sinistras com N52W/86NE. b) falha inversa do ponto TFS014 que ocorre nas rochas metassedimentares da Fm. Votuverava. Essa falha aproveitou o plano da foliação e foi reativada com componente inversa. c) Falhas conjugadas da estrutura em flor 30/80 (N60W/80NE) e 340/80 (N70E/80NW); d) conjugadas Y e R. A Y é a estrutura retilínea 185/75 (N85W/75SW) que forma conjugada com R 155/75 (N65E/75SE)

4.2.6 Apresentação dos resultados por pedreiras

4.2.6.1 Ponto TFS012

Abaixo (figura 88), diagrama de eixos de paleotensão para os dados referentes às falhas da família NE-SW normais, NE-SW destrais, NW-SE sinistrais e E-W sinistrais. Resulta numa distensão (σ_3) NNW-SSE.

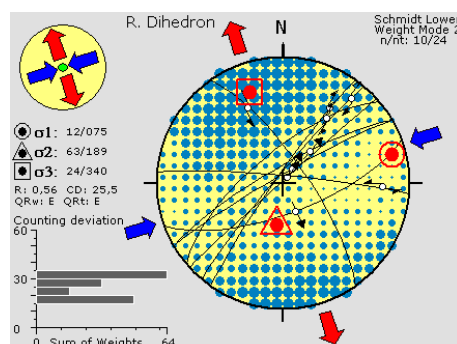


Figura 88: Diagrama de paleotensão para as falhas do ponto TFS012

O diagrama para as falhas NE-SW normais e E-W normais do ponto TFS012 resultam numa distensão (σ_3) aproximadamente NS.

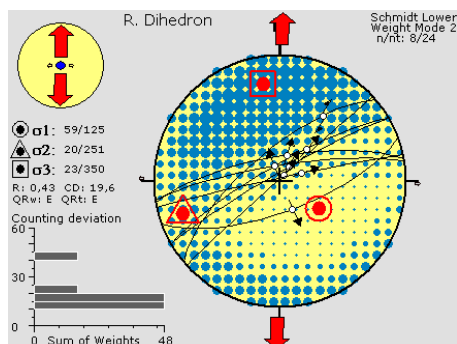


Figura 89: Diagrama de paleotensão para as falhas do ponto TFS012

Diagrama para as falhas NE-SW sinistrais e família NW-SE destrais indicando compressão (σ_1) aproximadamente N-S (figura 90).

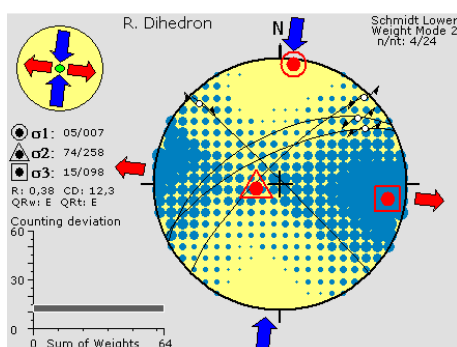


Figura 90: Diagrama de eixo de paleotensão indicando compressão N-S

4.2.6.2 Ponto TF014

Diagrama para NW-SE dextral e E-W- normal indicando compressão (σ_1) aproximada N-S (figura 91).

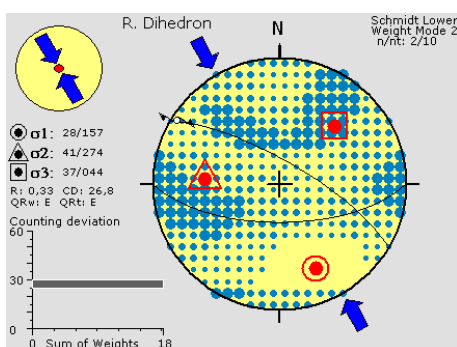


Figura 91: Diagrama de eixo de paleotensão para as falhas do ponto TFS014 indicando compressão aproximada N-S

4.2.6.3 Pontos TFS017 e TFS018

O diagrama para as famílias NE-SW sinistrais, N-S inversa e EW dextrais que ocorrem nos pontos TFS017 e TFS018 revelam compressão (σ_1) aproximadamente N-S, conforme figura 92.

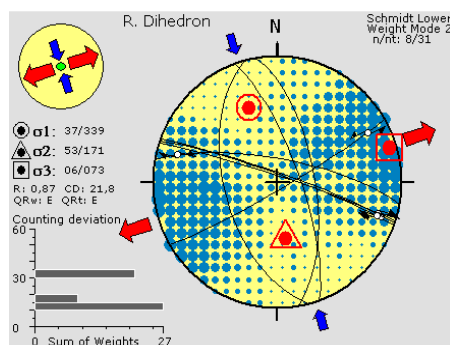


Figura 92: Diagrama de paleotensão indicando compressão aproximada N-S

Diagrama para as famílias NE-SW sinistrais, N-S sinistrais e EW sinistrais indicando uma distensão (σ_3) aproximada NW-SE, conforme figura 93.

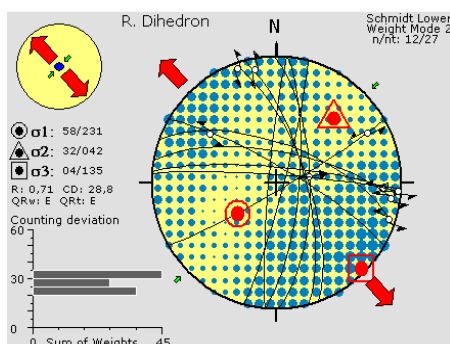


Figura 93: Distensão aproximada NW-SE para as falhas do ponto TFS017 e TFS018

4.2.6.4 Ponto TFS020

Diagrama para as famílias NE-SW sinistrais e N-S dextrais revelando compressão NS, conforme figura 94.

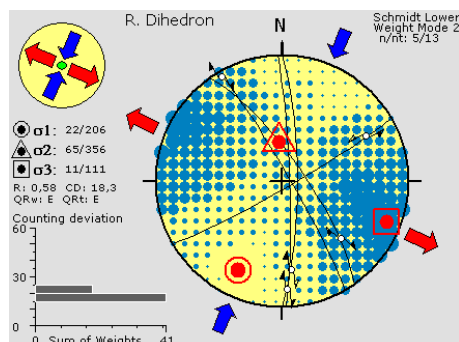


Figura 94: Diagrama de paleotensão para as estruturas do ponto TFS020

Diagrama de eixo de paleotensão para a família NE-SW dextrais, N-S sinistrais e E-W dextrais revelando compressão aproximadamente E-W (figura 95).

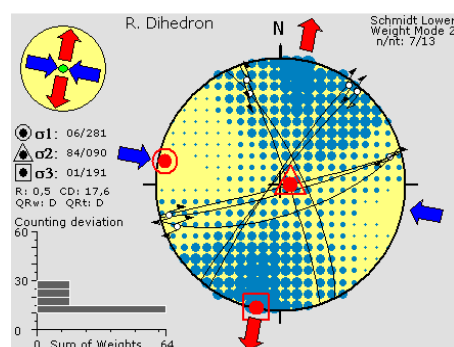


Figura 95: Diagrama de eixo de paleotensão para as estruturas do ponto TFS020

4.2.6.5 Ponto TFS022

Diagrama para as falhas NE-SW sinistrais e N-S sinistrais indicando compressão aproximadamente N-S, conforme figura 96.

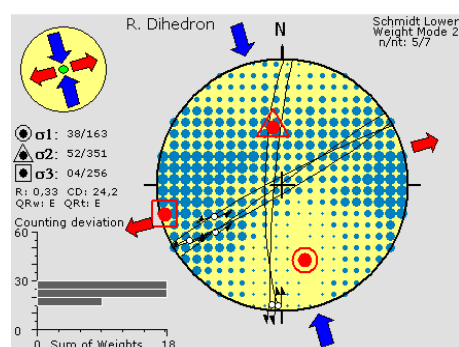


Figura 96: Diagrama de eixos de paleotensão para as falhas do ponto TFS022.

5 GAMAESPECTROMETRIA

Este capítulo apresenta os mapas gamaespectrométricos do Complexo Alcalino Tunas, que foram interpretados com base no comportamento geoquímico dos elementos de K, Th e U (Ulbrich *et al.* (2009), levando-se em consideração os fatores do intemperismo que lixiviam, por exemplo, o K de feldspatos e biotitas (Ferreira *et al.* 2009); Feldspato potássico converte-se em illita/mica. Aqui, se consideram os fatores climáticos atuantes como de relevância na interpretação de mapas gamaespectrométricos, uma vez que clima subtropical com chuvas sazonais e temperaturas elevadas contribuem com a aceleração de processos intempéricos (Ferreira *et al.* 2009).

A gamaespectrometria tem se mostrado ferramenta que auxilia o mapeamento geológico, oferecendo informações sobre unidades litoestruturais aflorantes (e.g. Moraes, 2007; Ferreira *et al.*, 2005). Ademais, ela é tradicionalmente utilizada como apoio à prospecção mineral (e.g. Pires, 1995) e modernamente tem sido utilizada para identificar áreas alteradas hidrotermalmente e investigar as relações entre tais alterações e processos geológicos associados à mineralizações (e.g. Fornazzari Neto *et al.*, 2001; Fornazzari Neto & Ferreira, 2003). Nesse sentido, a aplicabilidade da gamaespectrometria decorre dos contraste de radioatividade natural que existe em rochas e solos (Ferreira *et al.*, 2014). De acordo com Minty (1997 *in* Ferreira *et al.* 2014) a radiação gama com intensidade e energia suficientes para ser detectada em levantamentos gamaespectrométricos é provinda da desintegração do K e elementos da série do U e Th (Bismuto e Tálzio são os elementos que emitem a radiação gama) e os dados expressos em concentrações estão diretamente ligados à composição de rochas e solos das áreas levantadas.

Os resultados das medições foram plotados em mapas com gradações de cores (*color scale*) onde é possível visualizar as concentrações dos elementos K em porcentagem e eU e eTh em ppm (figura 98), bem como mapa ternário com modelo digital de elevação-SRTM sob o mapa para realçar a relação entre a topografia do terreno e a concentração nesses elementos radioquímicos.

5.1 Potássio (%)

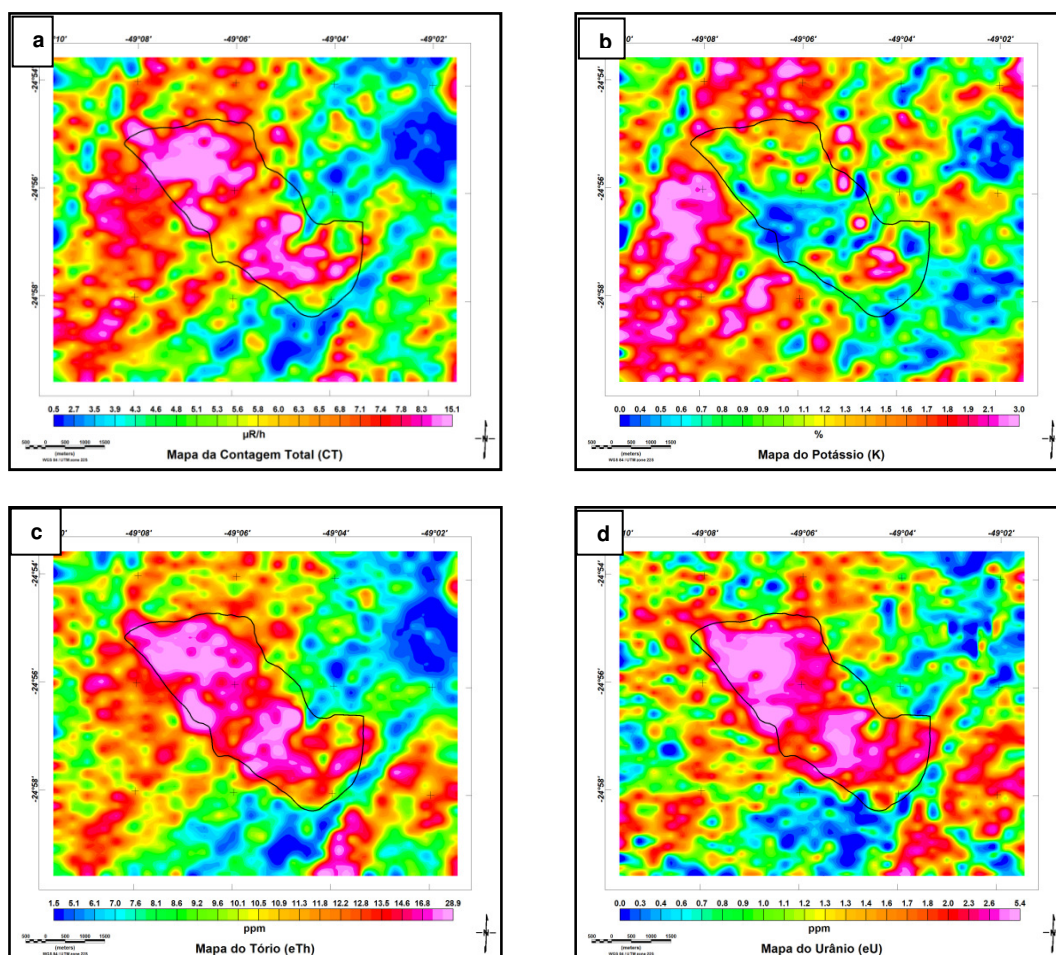
O K aparece em abundância em rochas félsicas, em grande parte devido aos teores de ortoclásio e o microclínio que possuem K_2O da ordem de 15 a 16% (12,45 a 13,28% K) e secundariamente em micas mais abundantes, como flogopita (9,80% K_2O , 8,13% K) e biotita (8,0 a 9,35% K_2O) além de quantidades reduzidas em plagioclásios, em especial os mais sódicos, com teores que raramente ultrapassam 0,5% K_2O , por vezes até 1%. As concentrações de K na crosta continental superior é 2,32% de K, sendo 2,80% K_2O (Ulbrich *et al.*, 2009). Nesse sentido, era de se esperar abundância em K nas rochas félsicas sieníticas do Complexo Alcalino Tunas devido à sua abundância em feldspatos potássicos, biotita e plagioclásio, porém não é o que se observa no mapa de K. Excetuando alguns pontos onde a topografia supera 1000 m e o K ocorre em quantidades superiores a 3%, as demais áreas, conforme figura 97, aparecem com valores inclusive próximos ou chegando a 0, evidenciando que a distribuição desse elemento é fortemente influenciada pelo controle do intemperismo.

5.2 eU e eTh (ppm)

De acordo com revisão de Ulbrich *et al.* (2009) a abundância média na crosta continental de U é de 1,3 ppm e na crosta continental superior é algo enriquecido e chega a 2,7 ppm. Th possui teor médio de 5,6 ppm na crosta e na crosta continental superior chega a 10,5 ppm. Portanto, numa aproximação, o Th é três vezes mais abundante que o U.

Analisando o mapa de eTh verifica-se que os valores estão entre 15,5 e 28.9 ppm, configurando que o Complexo Alcalino Tunas é enriquecido em eTh em até três vezes o valor médio encontrado na crosta superior. O mesmo ocorre para o U, com valores que estão entre 2,3 e 5.4 ppm, ou seja, localmente as alcalinas de Tunas possuem duas vezes o valor médio encontrado na crosta superior.

Os valores elevados de eU e eTh são confirmados quando se observa o mapa ternário em tonalidade de azul claro que corresponde à medidas aproximadamente iguais desses elementos e medidas quase nulas de K. Um dos minerais acessórios mais comum do maciço é a apatita (Siga Jr. *et al.*, 2007-a), um fosfato de Ca e F. Pode-se levantar a hipótese de U^{4+} , menos solúvel que U^{6+} , substituir o Ca na apatita (Ulbrich *et al.*, 2009), configurando assim elevados teores de U. De acordo com Ulbrich *et al.*, 2009, granitos peraluminosos com apatita podem apresentar teores de U de até algumas centenas de ppm, e de Th de algumas dezenas de ppm; Ademais, pelo U apresentar forte carga, pode ser capturado por absorção, em hidróxidos, óxidos, e oxi-hidróxidos neoformados de Al, Fe, Mn e Ti. Nesse mesmo raciocínio, o Th apresenta comportamento similar ao U.



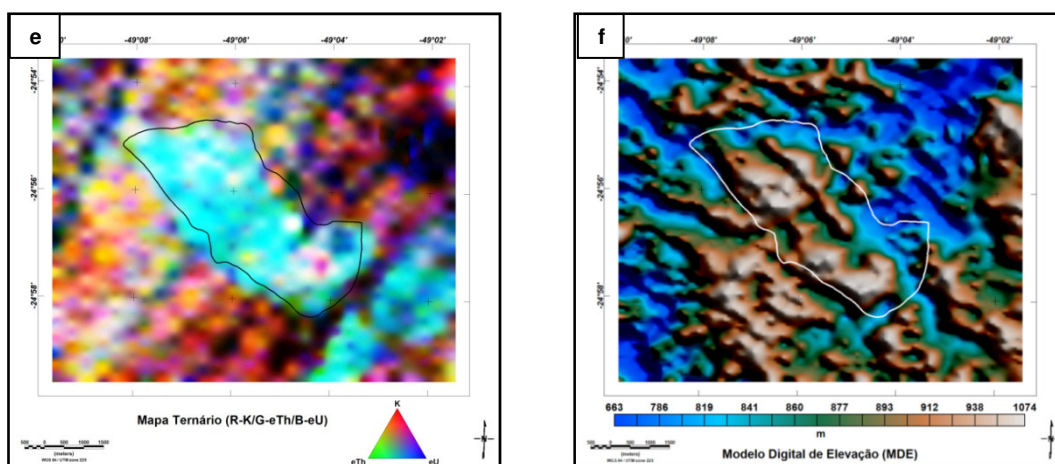


Figura 97: Mapas gamaespectrométricos do Complexo Alcalino Tunas. Contagem Total (a), Mapa do K (b), Mapa do eTh (c), Mapa do eU (d), Mapa ternário(e) e MDE (f).

Ao se analisar o triângulo de cores da figura 98, o ápice vermelho representa 100% de K, o vértice azul 100% de eU e o vértice verde 100% de eTh. No mapa ternário, o que se evidencia é forte cor azul claro, o que evidencia concentrações elevadas de eU e eTh e depleção em K. Apenas no extremo sudeste é que se observa tonalidade em vermelho, justamente na região mais alta da estrutura circular e tonalidades em amarelo, que representa concentrações de K e eTh em proporções aproximadamente iguais. A quase completa ausência de tonalidade em vermelho e roxo no Complexo Alcalino Tunas, reflete a depleção em K, que foi todo lixiviado e transformado em caulinita.

Outra observação que se pode fazer é que contorno do Complexo Tunas é bem destacado (figura 98), corroborando com a utilização de mapas ternários para a individualização de corpos graníticos e sieníticos.

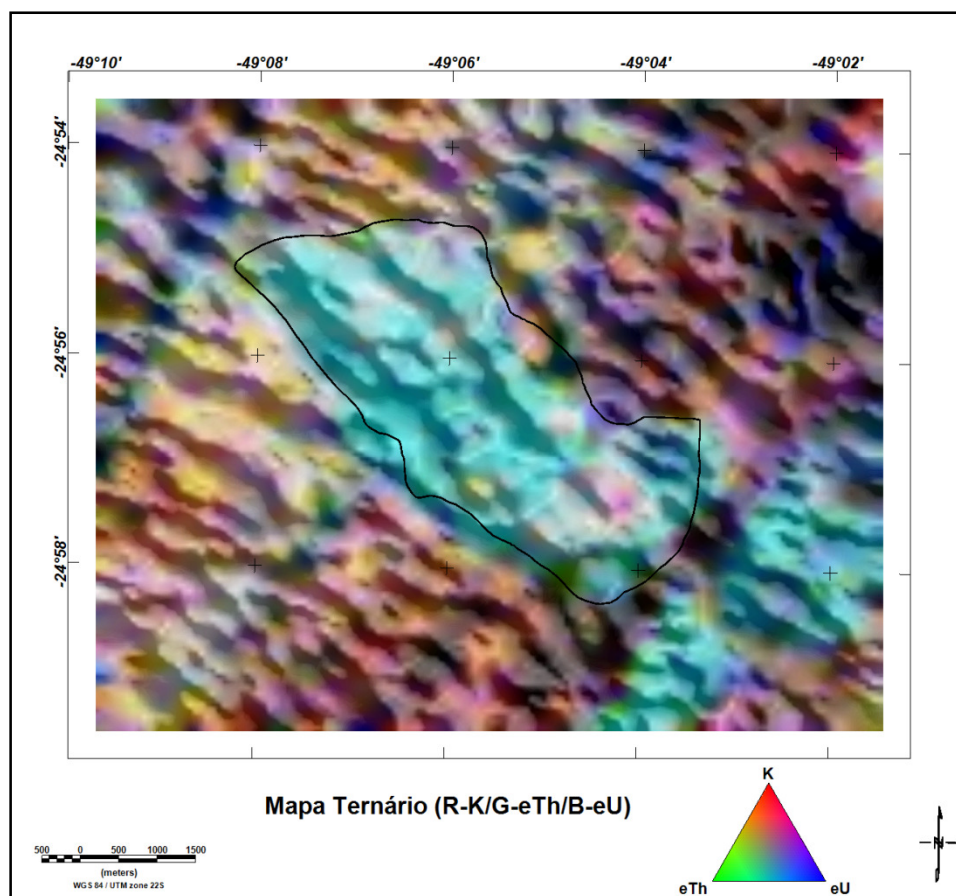


Figura 98: Mapa ternário do Complexo Alcalino Tunas.

De acordo com estudo de Ulbrich *et al.* (2009), o K é extremamente solúvel e, sob condições climáticas de regime de chuva extensos, converte-se inteiramente em caulinita. Esse fato é evidenciado no difratograma dos argilominerais da amostra TFS012-D onde ocorre caulinita (figura 67), conforme interpretação do difratograma da amostra, realizada pelo geólogo Rodrigo Secchi do Lamir-UFPR encontra-se em anexo.

Sabendo-se que o ciclo do K é similar ao do Na e inicia-se no intemperismo formando solos residuais com consequente liberação e transporte como cátion em soluções intersticiais, finalizando o ciclo com a sua acumulação em bacias continentais e por último, oceânicas. Por vezes, esse ciclo é aumentado por sua utilização no ciclo biológico. Posto isso, verifica-se, em adição ao exposto no primeiro parágrafo, que o K de fato foi todo lixiviado, pois as concentrações são inferiores a 1%, conforme pode ser observado no mapa do K. Tal fato é também facilitado pela topografia do terreno e por uma rede de drenagem que encontra-se encaixada em estruturas geológicas.

Como U e Th estão presentes em minerais acessórios que, normalmente se comportam como minerais resistentes perante o intemperismo, ficando retidos no solo residual, é que se deve levar em consideração fatores climáticos quando se interpreta mapas gamaespectrométricos. Porém, no caso específico do Complexo Alcalino Tunas, os valores de U e Th parecem ser independentes da topografia, visto que em áreas com boas exposições de rocha, tais como pedreiras, onde não há manto de intemperismo, as concentrações são altas, em torno de 28.9 ppm.

Por fim, a eficiência da gamaespectrometria como auxiliar na caracterização geológica, uma vez que a partir dela é possível individualizar o Complexo Alcalino de Tunas como uma unidade independente do Grupo Açungui. A partir da gamaespectrometria, delimita o maciço e dá respaldo a mapas que o interpretaram a partir de fotos aéreas.

.

6 ARTIGO CIENTÍFICO (Tectônica pós-cretácica do Complexo Alcalino Tunas-PR)

Post-Cretaceous tectonics of Tunas Alkaline Complex-PR

Taily Ferreira Santos FARIAS (tailygeo@gmail.com) & Eduardo SALAMUNI (salamuni@ufpr.br)

Programa de Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Caixa Postal 19.001, Centro Politécnico, Jardim das Américas, CEP 81531-990, Curitiba, PR, BR

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal reconhecer e caracterizar as estruturas rúpteis que seccionam o Complexo Alcalino de Tunas, além de investigar os mecanismos de deformação que originaram tais estruturas. O complexo está situado no sudeste paranaense, distante aproximadamente 80Km a norte de Curitiba-PR, e os litotipos principais que o compõe são sienitos e alcali-sienitos, brechas plutônicas e vulcânicas, além de diques de pequeno porte de traquito, sienito e bostonito. A idade aproximada de 83M.a mostra que a deformação rúptil se processou após o Cretáceo e pode ter sido neotectônica nos seus estágios finais. Os métodos empregados basearam-se na integração de análises de sensoriamento remoto e análises geométricas de dados estruturais de campo, priorizando elementos correlatos entre falhas/estrias e ressaltos que ocorrem nas rochas do complexo. As análises cinemática e dinâmica possibilitaram caracterizar quatro fases de deformação com diferentes campos de esforços que afetaram o complexo. Estas fases são correlacionáveis àquelas descritas no Sudeste do Brasil: transcorrência sinistral E-W, de idade miocênica, gerada por σ_1 direcionado para NE-SW; compressão (σ_1) N-S do Plio-Pleistoceno; transcorrência dextral E-W, datada do limite Pleistoceno-Holoceno gerada por σ_1 orientado para NW-SE; e regime compressivo (σ_1) E-W, holocênico.

Palavras-chave: Complexo Alcalino Tunas; Falhas transcorrentes rúpteis; Fases de deformação pós-Cretáceo.

ABSTRACT

This work aims to recognize and characterize the brittle structures that slice up the Tunas Alkaline Complex, and to investigate the deformation mechanisms that originated such structures. The complex is located in the southeastern Paraná, distant about 80 km from Curitiba-PR, and the main rock types that compose it are syenite and alkaline syenite, plutonic and volcanic breccias, and small trachyte dykes, syenite and bostonite. The approximate age of 83M.a shows that brittle deformation is sued after the Cretaceous and may have been neotectonics in its final stages. The methods were based on the integration of remote sensing analysis and geometric analysis of structural field data, prioritizing correlates between failures / stretch marks and steps that occur in rocks of the complex. The kinematic and dynamic analysis made it possible to characterize four phases of deformation in different fields efforts that affected complex. These phases are correlated to those described in Southeastern Brazil: sinistral transcurrent EW, of Miocene age, generated by σ_1 directed to NE-SW; compression (σ_1) NS Plio-Pleistocene; dextral transcurrent E-W, dating from the Pleistocene-Holocene boundary generated σ_1 oriented NW-SE; and compressional regime (σ_1) E-W, Holocene.

Keywords: Tunas Alkaline Complex, Transcurrent faults; Post-Cretaceous deformation stages.

6.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a concepção de Hasui (1990), a neotectônica ressurgente tem como objeto de estudo os movimentos ainda vigentes e que teriam se iniciado na deriva do continente sul-americano no Paleógeno e no Neógeno. Sendo assim, o referido autor considera que as manifestações neotectônicas são as correspondentes ao período de tempo entre o início do Neógeno até o Quaternário. Nesse contexto, o autor descreve a dificuldade de se estabelecer um quadro regional sobre a neotectônica ressurgente intraplaca na plataforma sul-americana.

Este trabalho apresentou os resultados da análise de estruturas rúpteis (juntas, falhas e estrias), além da análise cinemática e dinâmica de rochas aflorantes em pedreiras da região. Integrada a dados de análise de sensores remotos em diferentes escalas, a análise estrutural buscou estabelecer a sequência de eventos tectônicos que ocorreram no Complexo Alcalino Tunas. Foi possível estabelecer a partir de evidências de campo, quatro eventos de deformação. E com comparação de autores que tem estudado a temática da região, datados entre o Mioceno e o Holoceno, portanto, eventos caracterizados como neotectônicos.

Nesse sentido, a pesquisa buscou preencher uma lacuna no conhecimento, visto que a tectônica rúptil que afetou o Complexo Alcalino Tunas, de idade campaniana, ainda não havia sido caracterizada. O objetivo principal, assim, foi reconhecer e caracterizar as estruturas que ocorreram nas rochas sieníticas do Complexo bem como estabelecer um quadro evolutivo para as deformações que foram impressas no maciço. Com isso, buscou-se contribuir com os modelos tectônicos cenozoicos existentes na área sudeste do Brasil. Os dados alcançados com a pesquisa validam os eventos tectônicos descritos por diversos autores (Riccomini, 1989; Salvador, 1994; Salamuni, 1998; Hiruma, 1999; Silva e Melo, 2011 e Nummer *et al.*, 2014).

6.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

6.2.1 Localização

A região de estudo está localizada a 80 km a norte de Curitiba (figura 99), abrange os municípios de Tunas e Cerro Azul. A BR-476, conhecida pelo nome de estrada da Ribeira, que corta a área no sentido N-S é a principal via de acesso aos afloramentos estudados.

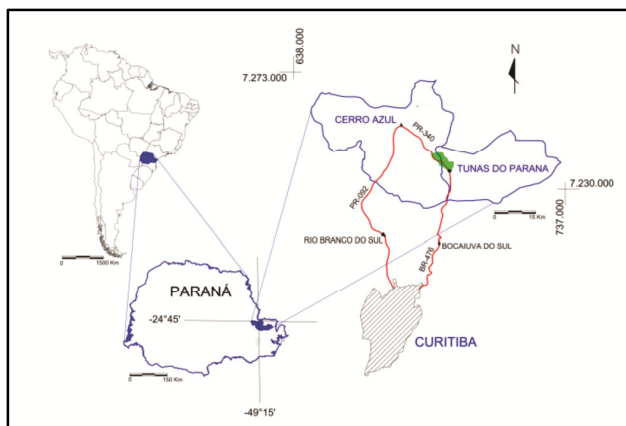


Figura 99: Localização da área do Complexo Alcalino Tunas (em verde) que dista de Curitiba aproximadamente 80Km, deslocando-se pela estrada da Ribeira (BR-476) que corta a área no sentido N-S.

O complexo Alcalino de Tunas está alojado nas unidades pré-cambrianas, na região leste paranaense mostrada pela Carta Geológica de Itararé (SG.22-X-B), na escala 1.250.000 da Mineropar (2005), principalmente a Formação Votuverava e o Complexo Setuva.

6.2.2 Arcabouço geológico e tectônico

O Complexo Alcalino Tunas está localizado no Sistema Orogênico da Mantiqueira (Hasui, 1975) que, na região de estudo, é formado pelo Cinturão Ribeira. Afloram rochas de idade entre o Arqueano e o Proterozoico com idades superiores a 1,8Ga e rochas do Paleoproterozoico ao Ordoviciano (Hasui, 2010).

Ocorre imediatamente a sudeste a área de estudo a Falha como Lineamento Além-Paraíba-Cubatão-Lancinha (Sadowski e Motidome, 1987).

A Falha da Lancinha se destaca em produtos orbitais, como uma estrutura fortemente retilínea e com rumo aproximadamente N50E. Fassbinder (1990) caracterizou-a na região paranaense, incluindo a definição de dois eventos de deformação, um de caráter dúctil datado do pré-Cambriano e denominado de Evento Cubatão e outro de caráter rúptil a rúptil/dúctil com generalizado fraturamento e brechas associadas.

Outra estruturação que se destaca na área é o Lineamento São Jerônimo-Curiúva, que possui orientação NW-SE e esteve ativo durante o Mesozoico. A tensão que o gerou foi responsável pela formação de fraturas tensionais de direção NW-SE que foram preenchidas por rochas basálticas toleíticas, configurando denso enxame de diques de direção geral N45W. Entre o Aptiano e o Eoceno cessou o vulcanismo basáltico, porém os lineamentos continuaram ativos, resultando numa configuração linear dos corpos alcalinos nas proximidades do Alinhamento São Jerônimo-Curiúva. Ou seja, as pulsações magmáticas foram claramente controladas pelo referido alinhamento, de tal modo que os maciços alcalinos Tunas, Ribeirão da Ilha, Mato Preto, Barra do Rio Ponta Grossa, Sete Quedas, Barra do Teixeira e Banhadão

estão inseridos nesse contexto (Ferreira & Algarte, 1979; Ferreira, 1982).

6.2.3 Complexo Alcalino Tunas

Na região do Vale do Ribeira, no sudeste brasileiro, ocorrem corpos ígneos de natureza alcalina formados no Cretáceo Superior, que em geral possuem orientação NW-SE e seccionam a estruturação NE-SW do escudo pré-cambriano. Os primeiros trabalhos nas ocorrências sieníticas no Paraná foram de Carvalho e Pinto (1937) e Moraes Rêgo & Almeida (1946). Trein *et al.* (1967), Fuck (1972), Vasconcellos (1991) e Vasconcellos e Gomes (1992) estudaram o maciço de Tunas de forma detalhada. O Complexo Alcalino Tunas (figura 100), como atualmente denomina-se o conjunto de stocks localizados em Tunas do Paraná, possui como litotipos predominantes sienitos-hornblenda-sienito e hornblenda quartzo sienito; fonolitos, brechas vulcânicas, traquitos e gabros de filiação alcalina (Trein *et al.* 1967). Também ocorrem dioritos, monzodioritos, gabros, monzogabros, diques de traquito, diques de microssienito e bostonito, além das brechas vulcânicas (Vasconcellos, 1991).

Ao total são sete ocorrências distintas de brechas, quatro localizadas na sua porção noroeste (NW) e três na porção central (Vasconcellos, 1991;

Vasconcellos & Gomes, 1992). Na sequência, Vasconcellos (1995) determina que os diques que ocorrem no Complexo Alcalino Tunas são preenchidos por traquitos.

Mais recentemente, em estudos voltados à geologia econômica, Di Giorgio (2003) reconheceu, de forma preliminar, dois eventos de deformação e Baêta (2004) mapeou quatro fácies denominadas informalmente pelos nomes comerciais ali utilizados.

Em relação à geocronologia, todas as análises realizadas confirmam que o Complexo Alcalino de Tunas está situado no Cretáceo Superior. Datações pelos métodos K/Ar e Rb/Sr realizadas por Gomes *et al.* (1987) mostram idades que variáveis entre 60 e 120 Ma. Porém, no geral predominam idades K/Ar entre 80-90Ma, com média de 82,2 Ma., semelhante à idade Rb/Sr de 80,5 Ma. segundo Siga Jr. *et al.* (2007). Já Siga Jr. *et al.* (2007) calcularam idades U-Pb (ID-TIMS e SHRIMP) em cristais de zircão entre 82,7 e 84,7 Ma.. O valor obtido pelo método Sm-Nd, de aproximadamente 1Ga (1019 Ma), representa a época da derivação do manto dos precursores crustais desses sienitos.

Aspectos petrográficos e geoquímicos dos sienitos do complexo foram abordados por Xavier (inédito), no intuito de caracterizar aspectos químico-

mineral da paragênese primária. A autora confirma a existência de eventos magmáticos e pós-magmáticos distintos que cristalizaram os feldspatos alcalinos sob condições de temperatura e fluidos variáveis, constatando que o sienito verde

é mais primitivo, enquanto que o cinza caracterizaria o estágio tardio na história evolutiva do Complexo Alcalino Tunas.

Mapa Geológico-Estrutural do Complexo Alcalino Tunas

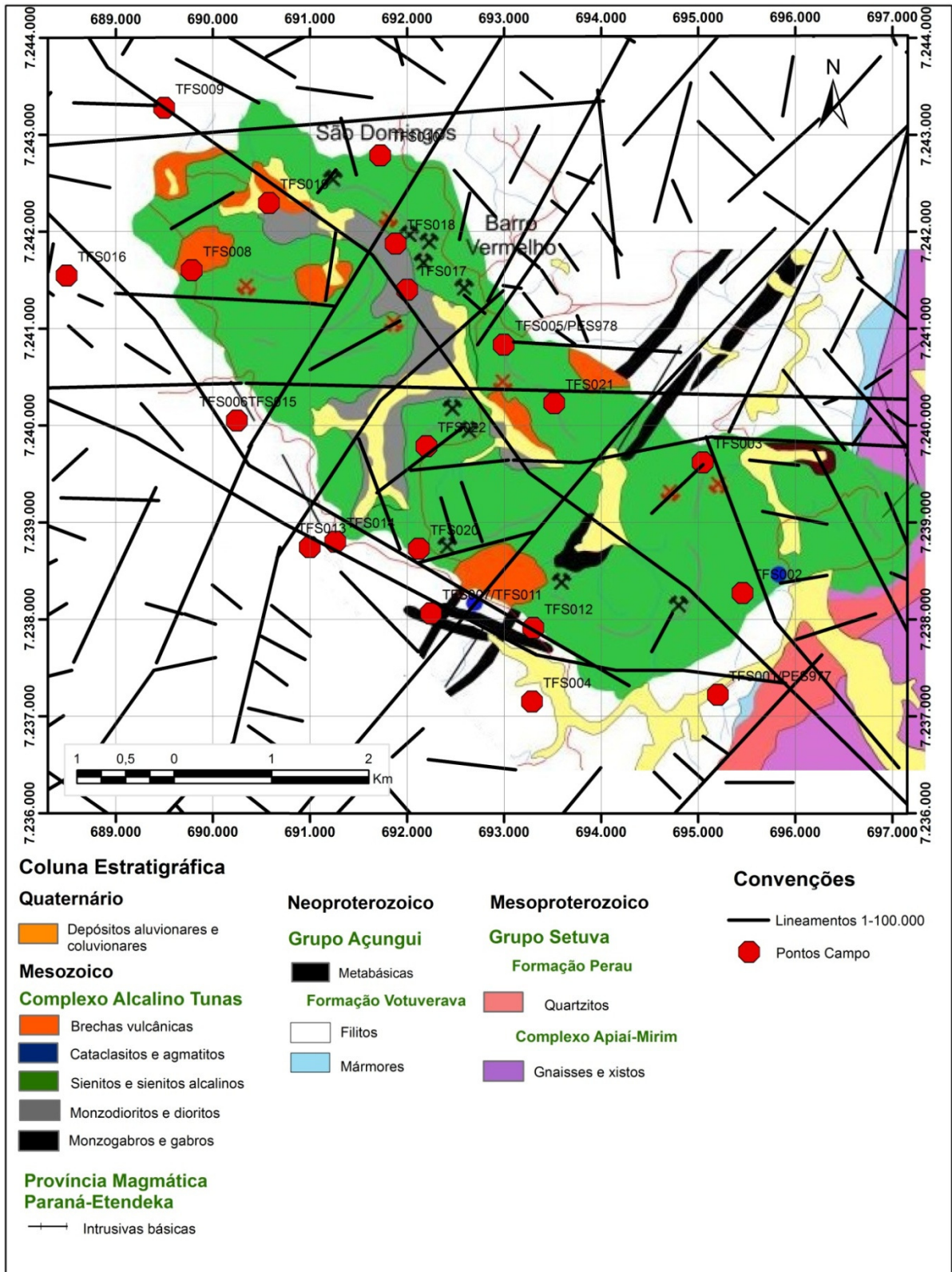


Figura 100: Mapa Geológico-Estrutural do Complexo Alcalino Tunas com lineamentos 1:100.000. Modificado e adaptado de Baeta (2004 *in* Xavier). Inclusão dos Lineamentos 1:100.000

6.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram visitados 22 afloramentos, estando quatro deles situados em pedreiras ativas ou abandonadas. A distribuição dos pontos abrangeu as bordas do corpo e as regiões centrais (ver figura 100). As melhores exposições dos sienitos e brechas do Complexo Alcalino Tunas situam-se nas pedreiras, de tal forma que os planos de falhas ocorrem com boa continuidade lateral e relativamente pouco intemperizados, facilitando assim a coleta de dados estruturais rúpteis.

Foram obtidas 358 medidas de estruturas rúpteis, com foco para as estruturas pareadas falha/estria. Os dados estruturais foram separados num banco de dados por sistemas de fraturas, conforme o esquematizado abaixo:

- (a) Sistema **NE-SW**- falhas entre N30E e 60E
- (b) Sistema **N-S**- falhas entre N30E e N30W
- (c) Sistema **NW-SE**- falhas entre N30W e 60W
- (d) Sistema **E-W**- falhas entre N60E-90E e N60W-90W.

Os dados foram analisados no programa *Wintensor* (Dalvaux, 2013) que utiliza a técnica dos diedros retos (Angelier & Mechler, 1977) para o cálculo dos eixos de paleotensão que geraram as estruturas rúpteis

As estruturas foram descritas com detalhes bem como as relações de corte entre as falhas e as relações de sobreposição de estrias. Por exemplo, as falhas sinistrais EW são anteriores às destrais EW pela observação em campo dessa sobreposição de estrias e ressaltos, tendo sido possível estabelecer uma ordem cronológica de eventos que ocorreram na área.

Foram gerados mapas de lineamentos positivos e negativos a partir de fotoaéreas 1:70.000, bem como mapa de lineamentos de drenagem na escala 1:50.000. Também foram analisados lineamentos a partir da imagem Aster em escalas 1:50.000 e 1:100.000. Em cartas geofísicas foram gerados mapas de lineamentos magnetométricos na escala local e regional, interpretados pelo método de Inclinação do Sinal Analítico_Gridente Horizontal Total (*ISA_GHT*). A partir da correlação dos vários mapas de lineamentos, utilizando-se da ferramenta expressões de cálculo do *ArcMap*, foram gerados diagramas de rosetas no *RockWorks* por frequência (azimute) e por comprimento (coordenadas X e Y).

Para a caracterização morfológica, estrutural dos minerais presentes em planos de falhas específicos, foi realizada no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da UFPR (LAMIR-UFPR) a

análise das amostras TFS012, TFS019 e TFS021 pelo MEV-EDS que possui alta resolução para análises de superfície e caracterização morfológica. Os melhores resultados foram fornecidos pela amostra TFS012. Para a análise qualitativa para a determinação dos minerais presentes nos planos de falha das respectivas amostras, foi utilizado a difratometria de raios-X pelo método do pó, conforme especificações do laboratório. Por fim, buscou-se na literatura, trabalhos que abordam a tectônica pós-cenozoica na região Sul e Sudeste do Brasil para comparar os resultados com as propostas de autores que tem estudado o mesmo assunto.

6.4 RESULTADOS

6.4.1 Análise dos lineamentos por sensoramento remoto

Os lineamentos mais compatíveis com os dados de campo foram aqueles fotointerpretados na escala 1:70.000, que apresentam nos diagramas de rosetas por frequência (figura 101) um padrão estrutural predominantemente N40-50E, seguidos dos padrões N30-40E e E-W. As estruturas N-S foram destacadas nos lineamentos de drenagem tanto por frequência quanto por comprimento e na roseta resultante dos lineamentos ISA-GHT por frequência.

Os lineamentos de direção N40-50W não se apresentam em campo com expressividade, apesar de se destacarem em imagens de satélite.

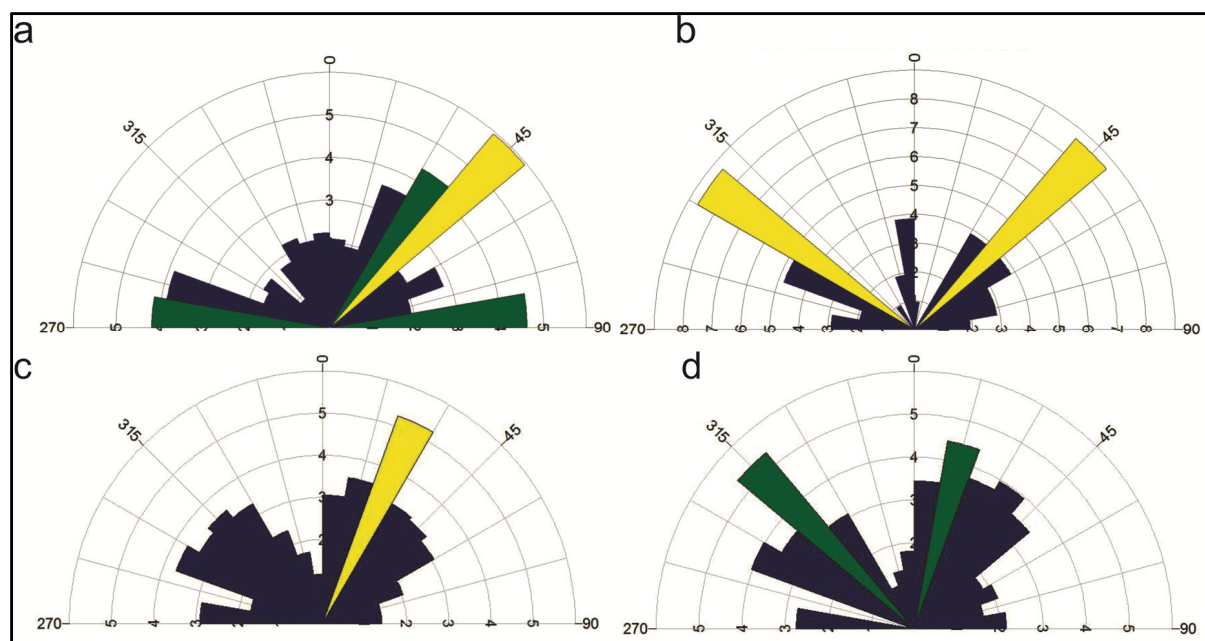


Figura 101: a) Roseta para lineamentos fotointerpretados por frequência, n= 336; b) Roseta para lineamentos ISA-GHT por frequência, n=52;c) Roseta para lineamentos de drenagem por frequência, n=638; d) Roseta para lineamentos de drenagem maiores que 500m, n=164

6.4.2 Geometria e cinemática das falhas

As 398 medidas de planos de falhas e juntas obtidas no Complexo Alcalino Tunas são apresentadas de acordo com separação arbitrária em sistemas de fraturas e falhas, conforme se segue: sistema NE-SW; sistema N-S; sistema NW-SE e sistema E-W.

As falhas normais que ocorrem no Complexo Alcalino são de direção predominante N50-60E e não possuem expressividade para o quadrante NW (figura 102-a). Por sua vez, as falhas

transcorrentes sinistrais ocorrem predominantemente com direção N60-70E com representatividades secundárias nas direções N10-20W e N70-80W (figura 102-b), enquanto que as falhas transcorrentes dextrais (figura 102-c) ocorrem predominantemente para o quadrante NE, destacando-se as direções N60-70E, N30-50E e N60-70W.

Em campo, tanto as falhas normais quanto as transcorrências ocorrem com altos ângulos de mergulho, entre 70-90°. Interessante que num mesmo plano de falha, ocorrem estrias horizontais a verticais, lado a lado, denotando um regime de transtensão (ou transtração).

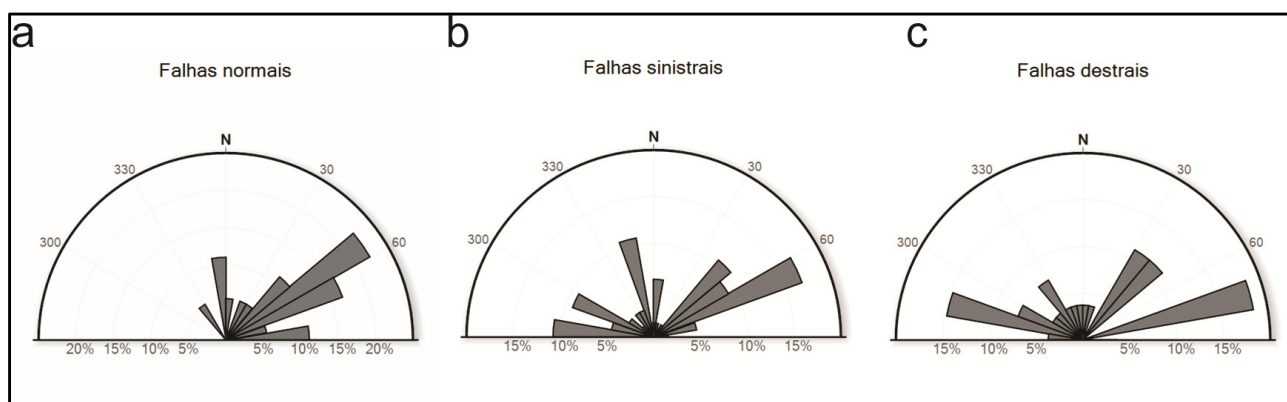


Figura 102: a) Diagrama de roseta para todas as falhas normais; b) Diagrama de rosetas para todas as falhas sinistrais; c) Diagrama de rosetas para todas as falhas dextrais

O sistema NE-SW ocorre em quase a totalidade dos 22 afloramentos visitados e possui como característica ter o plano de direção N30E como fratura R dos planos N60E tidos como fraturas Y de

Riedel. A estrutura de direção N30E ocorre normalmente com cinemática dextral e com ângulos de mergulhos entre 80-90°. Outra característica dessas falhas é que são muitas vezes preenchidas por diques de traquito de espessura centimétrica. Quando em torno de N50E, possui altos ângulos de mergulhos, por

vezes preenchida por sílica amorfa cinza escuro.

Em campo, as estruturas desse sistema de cisalhamento rúptil são reconhecidas por espelhos de falhas planares a curvilíneos e extensos e com alturas que alcançam os 3m, preenchidos normalmente por caulinita e com estruturas secundárias associadas, tal como ressaltos, estrias, estruturas em colher (Petit, 1987). Localmente, ocorre preenchida por pseudotaquilito e com geometria sigmoidal, conforme figura 103-a.

No tocante à caracterização dos minerais que ocorrem nos planos de falhas, destacou-se o resultado para amostra do plano de falha de direção N64E que possui como um dos minerais constituintes a illita.

O sistema N-S ocorre principalmente como transcorrência de cinemática sinistral, com altos ângulos de mergulho. Ocorrem com traçados retilíneos em perfil, como conjugada das estruturas de direção N40W. com forte cataclase associada, com zona de dano centimétrica. Normalmente é preenchida por óxidos de Fe e Mg ou pseudotaquilito. Ocorrem sigmoides métricos em perfil (figura 104-a) e localmente ocorrem preenchidas por dique de traquito de espessura centimétrica.

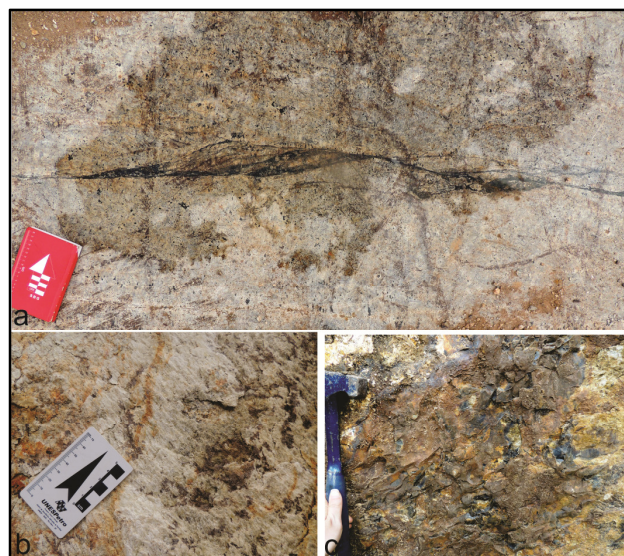


Figura 103: a) Geometria sigmoidal (vista em planta) do plano de direção N60E preenchido por pseudotaquilito; b) Estrias oblíquas impressas em caulinita, plano de direção N60E, vista em perfil; c) Plano de direção N60E preenchido por sílexito, vista em perfil.

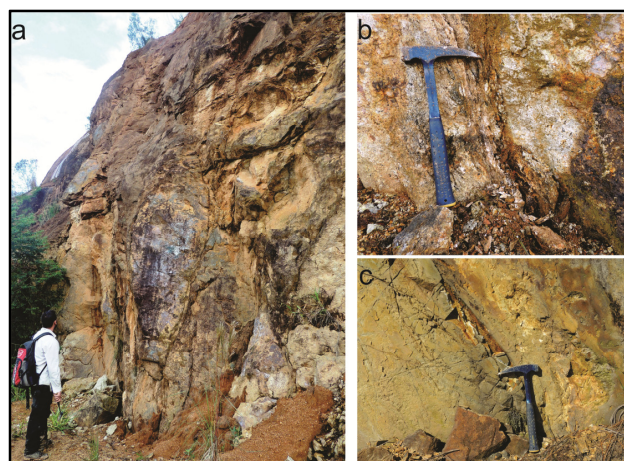


Figura 104: a) Sigmoide métrico em falha de direção N-S; b) Traço de falha N-S em perfil com zona de dano de aproximadamente 10cm; c) Traço de falha N-S em perfil com cominuição de rocha em zona de falha

O sistema NW-SE, como anteriormente mencionado, não ocorre com expressividade em campo. As poucas estruturas observadas possuem altos ângulos de mergulho, que se aproxima dos 90° e formam espelhos de falha muito retilíneos, sem

preenchimento. Em campo foi possível verificar que as estruturas NW-SE marcam o contato do Complexo Alcalino Tunas com as rochas metassedimentares do Grupo Açungui.

O sistema E-W é o que melhor se destaca em campo, com exposições de falhas em quase todos os afloramentos. Como a demais estruturas anteriormente mencionadas, esse sistema possui como característica marcante altos ângulos de mergulho, com estruturas R (de Riedel) associadas sob forma de falhas de direção aproximada N50-60E. A predominância da cinemática é sinistral, mas se verificam sobreposição de estrias que caracterizam falhas E-W destrais posteriores às transcorrências sinistrais. Essas estruturas marcam vertentes e vales alinhados e retilíneos, conforme mostra a figura 105-a. A partir de imagem MEV de estrias impressas em caulinita de amostra retirada do plano que preenchem a falha E-W, foi constatada que a última deformação de fato é a correspondente à transcorrência E-W.

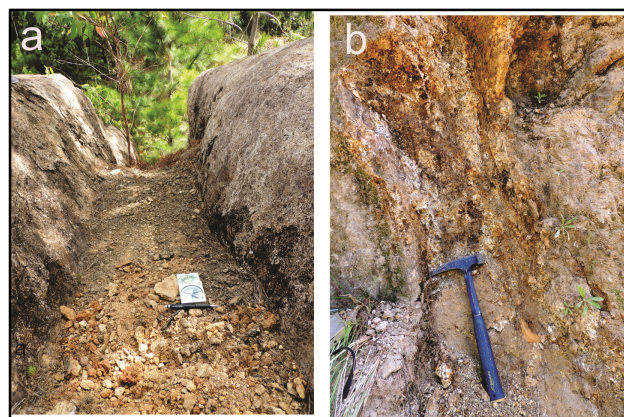


Figura 105: a) Zona de cisalhamento de direção E-W vista em planta, zona de dano de aproximadamente 70cm; b) Estrutura em flor de dimensão centimétrica.

6.4.3 Análise dinâmica das falhas

A análise dinâmica buscou identificar os eventos tectônicos que ocorreram na área de estudo. Nesse sentido, foram caracterizados quatro eventos tectônicos.

Nas figuras 106 a 109, σ_1 é representado por um círculo, σ_2 por um retângulo, enquanto que σ_3 é representado por um quadrado.

O primeiro evento que ocorreu na área é uma compressão do Mioceno, com eixo de maior tensão (σ_1) direcionado aproximadamente na direção NE-SW e que geram as transcorrências E-W sinistrais e as estruturas N-S destrais (figura 106).

O segundo evento é representado por uma compressão aproximadamente N-S (figura 107) que gera/reactiva estruturas NE-SW sinistrais e NW-SE destrais, além de fraturas T N-S, onde estão intrudidos diques.

O terceiro evento corresponde a uma compressão NW-SE que reativam as transcorrências E-W, no sentido horário, e N-S no sentido anti-horário (figura 108).

O mais novo, provavelmente do Holoceno, corresponde às estruturas que foram formadas ou reativadas sob um esforço compressivo direcionado aproximadamente a E-W e correspondem às falhas de direção N30E destrais, N-S destrais, E-W sinistrais e NW-SE sinistrais, conforme figura 109.

aproximadamente N-S para as falhas NE-SW sinistrais.

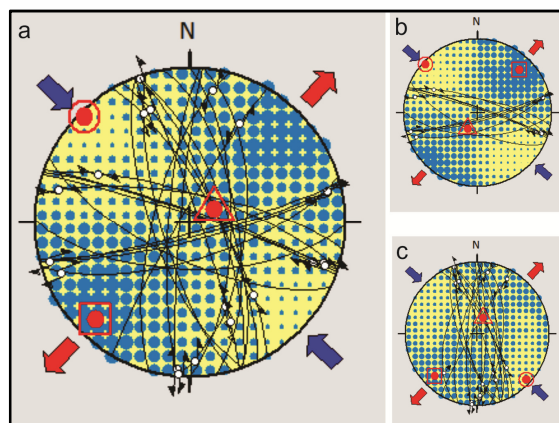


Figura 108: a) Diagrama de paleotensão a partir da compressão NW-SE, b) Falhas destrais E-W; c) Falhas sinistrais N-S.

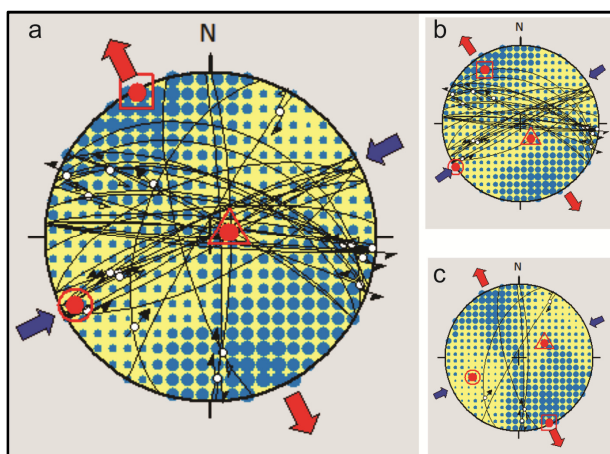


Figura 106: Diagrama de paleotensão para as falhas sinistrais E-W e destrais N-S; b) Falhas E-W sinistrais; c) Falhas N-S destrais.

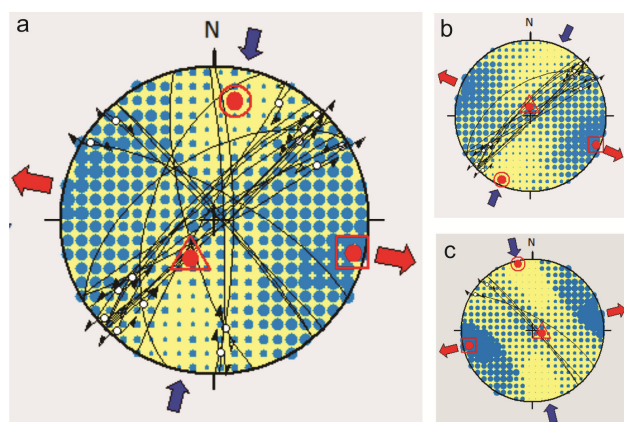


Figura 107: a) Diagrama de paleotensão com compressão N-S (Plio-Pleistoceno) com extensão aproximadamente E-W; b) Compressão

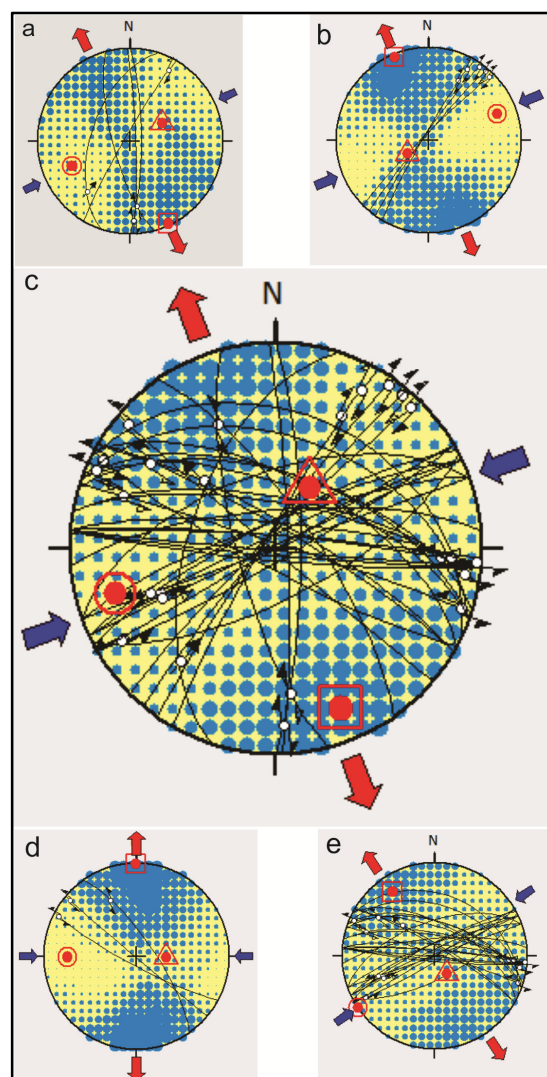


Figura 109: Diagrama de paleotensão. Em a) Falhas N-S destrais; b) Falhas N30E destrais; c) Diagrama de paleotensão para falhas N-S destrais, N30E destrais, NW-SE sinistrais e E-W

sinistrais resultando numa compressão aproximadamente E-W; d) Falhas NW-SE sinistrais; d) Falhas E-W sinistrais.

6.5 DISCUSSÃO

As estruturas rúpteis que ocorrem no Complexo Alcalino de Tunas foram separadas em sistemas de falhas, conforme tabela 02, e a partir da observação de sobreposição de estruturas em campo, foi possível estabelecer uma ordem cronológica entre elas. Por exemplo, nas transcorrências E-W destrais (correspondente ao n°. 6 da tabela 02) são anteriores às transcorrências sinistrais E-W (n°. 10), pois em campo, as estrias e ressaltos com movimentação destal ocorrem sobrepostas às estrias que indicam movimentação sinistral. No plano de falha de direção média N30W e movimentação sinistral, há duas direções de movimentação que geram estrias em direções distintas, sugerindo duas fases de movimentação, ou seja, depois da compressão aproximadamente E-W (n°. 13) responsável pela formação das transcorrências sinistrais do sistema NW-SE, certamente houve um evento posterior. Esse evento gera a transcorrência destal do sistema N30-60W que em campo corta a estruturação N30W sinistrais. Portanto, a formação das falhas N30W laterais direitas estaria sob o campo de paleotensão máxima σ_1

aproximadamente N-S (n°. 5) condizente com evento que gera as transcorrências destrais.

A última deformação presente na área é formada sob campo de compressão ENE-WSW e distensão NNW-SSE e formam as transcorrências sinistrais E-W, as transcorrências N-S destrais e provavelmente as NW-SE sinistrais (n°. 13, podendo significar uma variação de σ_1) e as NE-SW normais (n°. 01). Tais eixos de paleotensão correspondem aos encontrados por Riccomini (1989), Silva e Mello (2011), Nummer *et al.* (2014) e Peyerl (inédito). Riccomini (1989), Peyerl (inédito) e Nummer *et al.* (2014) posicionam essa fase no Mioceno. Interessante destacar que Nummer *et al.* (2014) citam autores que observaram essa fase de deformação em maciços alcalinos do sul/sudeste datados do Cretáceo Superior.

O evento que se segue corresponde a uma compressão (σ_1) N-S, do Plio-Pleistoceno, que forma as estruturas NW-SE destrais (n°. 05) e NE-SW sinistrais (n°.09). Em campo, foi reconhecido dique de traquito com direção N-S que pode corresponder à fratura T de Riedel. Tal solução de campo de tensão é observado por Salamuni (1998) e Chavez-Kus e Salamuni (2008) nos sedimentos da Bacia de Curitiba, e em trabalho de compilação de Peyerl

(inédito). Em campo, foram reconhecidas falhas de direção N-S que estariam relacionadas à essa fase de deformação.

O evento do Pleistoceno forma as transcorrências destrais E-W (n°. 06), N-S sinistrais (n°. 04) e correspondem a uma compressão (σ_1) direcionada para NW-SE e distensão (σ_3) direcionada para NE-SW. Conforme pode ser observado na figura 12, diversos autores encontraram o evento caracterizado por uma transcorrência destral E-W.

No Holoceno, há uma fase de deformação dada por (σ_1) aproximadamente E-W e que na área de estudo corresponde ao última deformação. Em campo, estrias impressas em caulinita e illita indicam uma deformação extremamente nova. Nesse sentido, os planos N30E e os planos E-W sinistrais são o último evento de reativação de estruturas na área de estudo. Provavelmente, as transcorrências NW-SE sinistrais foram reativadas nesse evento e houve uma transtração das estruturas E-W com σ_1 oblíquo (n°. 07). Esta fase de deformação do Holoceno é caracterizada por diversos autores que reconhecem um σ_1 aproximadamente E-W, conforme pode ser visualizado na figura 12.

6.6 CONCLUSÕES

Os dados inéditos levantados no Complexo Alcalino Tunas corroboram com autores que tem estudado a temática e encontraram indícios de tectônica pós-cretácica para a região sudeste do Brasil (figura 110). Nesse panorama, o resultado dessa pesquisa, integrados à estudos realizados em área próximas, podem contribuir com o refinamento de modelos existentes na literatura.

Muito provavelmente as estruturas relacionadas à Falha da Lancinha e ao Lineamento São Jerônimo-Curiúva tiveram papel importante na deformação pós colocação do Complexo Alcalino, visto que são estruturas que estão muito próximas ao Complexo Alcalino Tunas. Essa hipótese deve ser investigada com mais detalhe e com estudos abrangendo mais corpos alcalinos pós-cretácicos.

Os lineamentos de fotografias aérea nas escala 1:70.000 possuem boa correspondência com as falhas que ocorrem na área, assim como os lineamentos ISA-GHT na escala 1:50.000. Nesses casos, mapas de lineamentos servem para mostrar que existe estruturas na área de estudo e elas tem correspondência com os dados de campo.

A presença de illita em planos de falhas pode contribuir com estudos

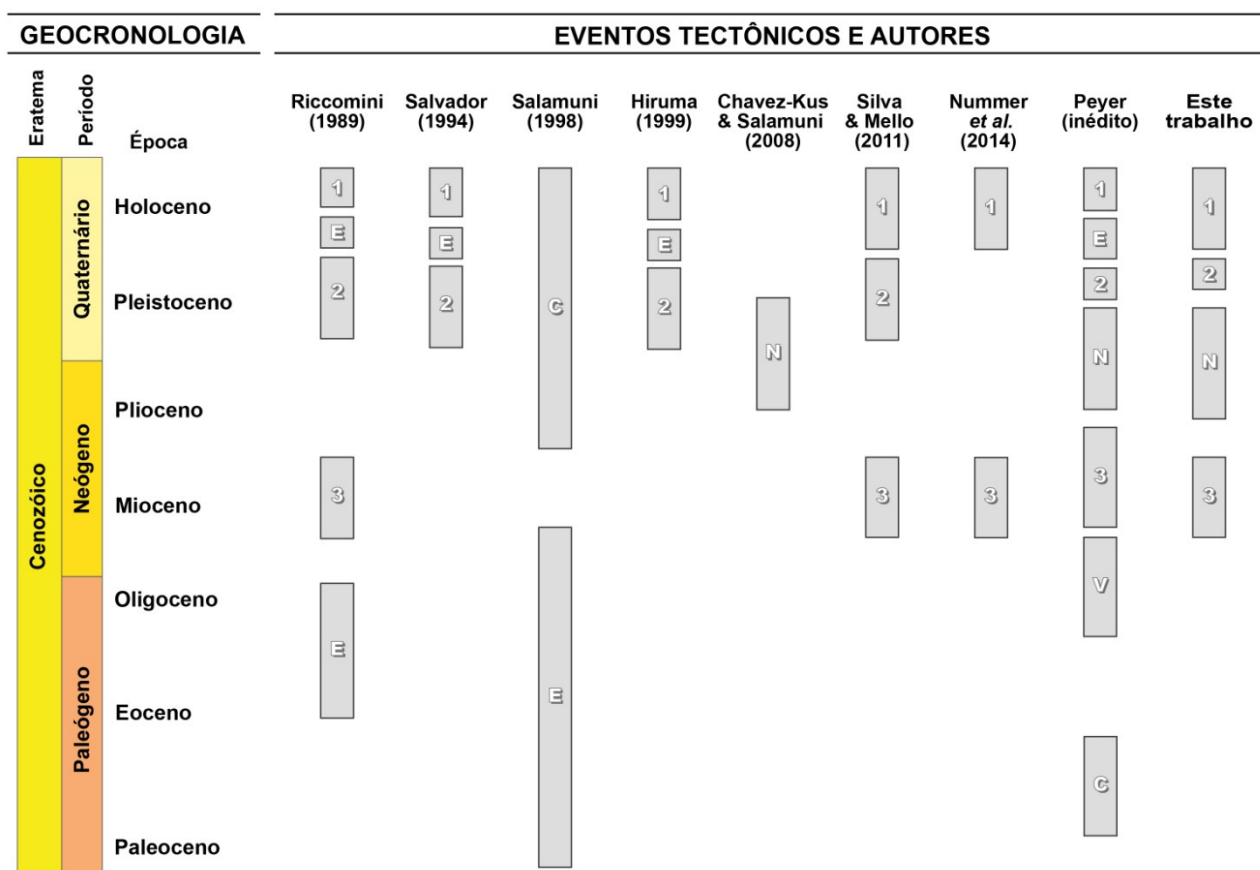


Figura 110: Quadro de eventos neotectônicos pós- cenozoicos de acordo com diversos autores, incluindo os eventos propostos neste trabalho. **E (Eoceno-Oligoceno)** de Riccomini (1989) representa extensão NNW-SSE; **E (Paleoceno ao Mioceno)** de Salamuni (1998) representa extensão em torno de E-W; **V (Oligoceno)** de Peyerl (inédito) representa σ_1 vertical com extensão NW-SE; **C (Mioceno ao Holoceno superior)** de Salamuni (1998) representa compressão de NW-SE a E-W; **C (Paleoceno)** de Peyerl (inédito) representa compressão NE-SW. **E (Holoceno)** de Riccomini (1989) representa extensão aproximadamente NW-SE; **E (Holoceno)** de Salvador (1994), Peyerl (inédito) representa extensão aproximada E-W, enquanto que **E** de Hiruma (1999) representa extensão E-W a NW-SE. **N (Plio-Pleistoceno)** de Chavez-Kus & Salamuni (2008), Peyerl (inédito) e Este trabalho representa compressão N-S. O **evento 1 (Holoceno)** foi observado pela quase totalidade dos autores e corresponde à compressão aproximada E-W, incluindo Salamuni (1998), neste caso representado por **C**. O **evento 2 (Pleistoceno)** representa compressão aproximadamente NW-SE que geram, principalmente, as transcorrências E-W destrais. O **evento 3 (Mioceno)** representa compressão aproximadamente NE-SW que geram, principalmente, as transcorrências E-W sinistras

Ao total o Complexo Alcalino Tunas possui quatro fases de deformação que podem ser sumarizadas conforme abaixo:

1. Fase de deformação de idade miocênica (3 da figura 110) que foi formada por uma compressão ENE-WSW e distensão NNW-SSE e gera as

transcorrências sinistras E-W, as transcorrências N-S destrais e provavelmente as NW-SE sinistras e as NE-SW normais.

2. Fase de deformação de idade plio-pleitocênica (N da figura 110) formada por compressão (σ_1) N-S e que gera as

estruturas NW-SE destrais e NE-SW sinistrais.

3. Fase de deformação de idade pleistocênica formada por compressão (σ_1) direcionada para NW-SE e distensão (σ_3) direcionada para NE-SW (2 da figura 110) que gera as transcorrências destrais E-W e as falhas N-S sinistrais.

4. Fase de deformação de idade holocênica formada por compressão (σ_1) aproximadamente E-W (01da figura 110) e que reativa as estruturas de direção N30E e as transcorrências sinistrais E-W, além das transcorrências NW-SE sinistrais.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (PPGeol-UFPR) e ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná (DEGEOL-UFPR) pelo apoio financeiro e pela infra-estrutura disponibilizada.

REFERÊNCIAS

ANGELIER, J. & MECHLER, P.; *Sur une méthode graphique de recherché des constraints principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. Bulletin de la Société Géologique de France*, 7:1309-1318. 1977.

BAÊTA, R.M. *Caracterização petrográfica, faciológica e tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas/PR*. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)- Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

CARVALHO, RR e PINTO, E.A.; Reconhecimento geológico na Série Assunguy. *Bol. Serv. Geol Miner.*, 71:1-29. 1937.

CHAVEZ-KUS L. e SALAMUNI E.; Evidência de tensão N-S intraplaca no Neógeno, Complexo Atuba - região de Curitiba. *Rev. Bras. Geoc.*, 38(3):439-454. 2008.

DELVAUX, D.; *Win Tensor 4.0.4. Royal Museum for Central Africa, Dept. Geology & Mineralogy. Tervuren, Belgium.2013.*

DI GIORGIO, D. *Fatores Geológicos no Planejamento de Lavra de Rochas ornamentais*. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FASSBINDER, E.; *Análise Estrutural da Falha da Lancinha, Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 165 f. 1990.

FERREIRA, F. J. F. ; ALGARTE, J. P. O comportamento aeromagnetométrico-cintilométrico das principais rochas alcalinas dos estados de São Paulo e Paraná. In: II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA., 1979, RIO CLARO-SP. ATAS DO II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA.SÃO PAULO-SP: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, p. 195-208.

FERREIRA, F. J. F.; *Integração de Dados Aeromagnéticos e Geológicos: Configuração e Evolução Tectônica do Arco de Ponta Grossa*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.1982.

FUCK, A.F.; *Geologia do Maciço Alcalino de Tunas, Paraná, Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 82p. 1972.

GOMES, C. B.; BARBIERI, M.; BECCALUCA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; RUBERT, E.; SHEIBE, F.; TAMURA, R. M.; TRAVERSA, G. *Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 2. The Tunas massif, State of Paraná. Geochimica Brasiliensis*. v. 1, p. 201-234, 1987.

HASUI, Y. Evolução Polifásica do Pré-Cambriano a Oeste de São Paulo. *Boletim do Instituto Geológico*, v. 6, p. 95-108, 1975.

HASUI, Y.; Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: 1º. WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZOICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO. Boletim n°. 11. Sociedade Brasileira de Geologia, núcleo Minas. Belo Horizonte, junho de 1990. p. 1-31. 1990.

HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. *Geociências*: São Paulo, v. 29, n. 2, p. 141 – 169, 2010. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/29_2/Art_1_Hasui.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2014.

HIRUMA, S.T.; *Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão (SP)*. Universidade de São Paulo: Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado. São Paulo. 1999. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-15052014-094033/pt-br.php>>. Acesso em: 12 de outubro de 2014.

MINEROPAR. *Folha de Itararé: 1.250.000*. 2005. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geologia/PDF_Mapas_Geo_2

50000/Itarare.PDF>. Acesso em: 10/10/2014.

NUMMER, A.R.; MACHADO, R.; JACQUES, P.D. Tectônica transcorrente mesozoica/cenozoica na porção leste do Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 41 (2): 121-130. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 2014.

PETIT, J.P.; *Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. Journal of Structural Geology*, Vol. 9, N°. 5/6, pp. 597-608. 1987.

RICCOMINI, C.; *O rift continental do sudeste do Brasil*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 256p. 1989. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-18032013-105507/en.php>>. Acesso em: 12/10/2014.

SALAMUNI E.; *Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual-Rio Claro. Tese de Doutorado, 214 p. 1998.

SALVADOR, E.D.; *Análise neotectônica da região do Vale do rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)*. Universidade de São Paulo: Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado. 109p. 1994.

SIGA JÚNIOR, O.; GOMES, C.B.; SATO, K.; PASSARELLI, C.R.; O Maciço Alcalino de Tunas, PR: Novos Dados Geocronológicos. 2007. *Revista do Instituto de Geociências (USP)*. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 7, n. 2, p. 71-80. 2007. Disponível em: <<http://papegeo.igc.usp.br/pdf/guspsc/v7n2/05.pdf>>. Acesso em junho de 2014.

SILVA, T.P. e MELLO, C.L.; Reativações Neotectônicas na Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (Sudeste do Brasil). *Revista do Instituto de Geociências - USP* 95 - Geol. USP, Sér.

cient., São Paulo, v. 11, n. 1, p. 95-111. 2011. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/guspsc/v11n1/06.pdf>>. Acesso em: 20/06/2016.

TREIN, E.; MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; . Rochas Alcalinas no Primeiro Planalto do Estado do Paraná. In: Bigarella, J.J.; Salamuni, R.; Pinto, V.M. ed. Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subsequentes da Porção Oriental do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, nº 23-25, p. 325-347. 1967.

VASCONCELLOS, E.M.G.; *Investigações Geológicas e Petrológicas das Brechas Vulcânicas do Maciço de Tunas, PR*. São Paulo. 128 p. 1991. (Dissertação de Mestrado, IG/USP).

VASCONCELLOS, E.M.G & GOMES, C.B.; Caracterização petrográfica de brechas vulcânicas no Complexo Alcalino de Tunas, PR. *Revista Brasileira de Geociências* 22(3):p. 269-274. 1992. Disponível em: <<http://rbg.sbgeo.org.br/index.php/rbg/article/view/419/112>>. Acesso em: outubro de 2015.

VASCONCELLOS, E.M.G.; *Petrologia e geoquímica de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa do estado do Paraná, São Paulo*. (Tese de doutorado em Mineralogia e Petrologia)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1995.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo menos quatro eventos de deformação afetaram as rochas sieníticas do Complexo Alcalino Tunas. Um evento mais antigo, do Mioceno, responsável pela formação das estruturas E-W sinistrais e N-S destrais, conforme diagrama de paleotensão apresentado na figura 111.

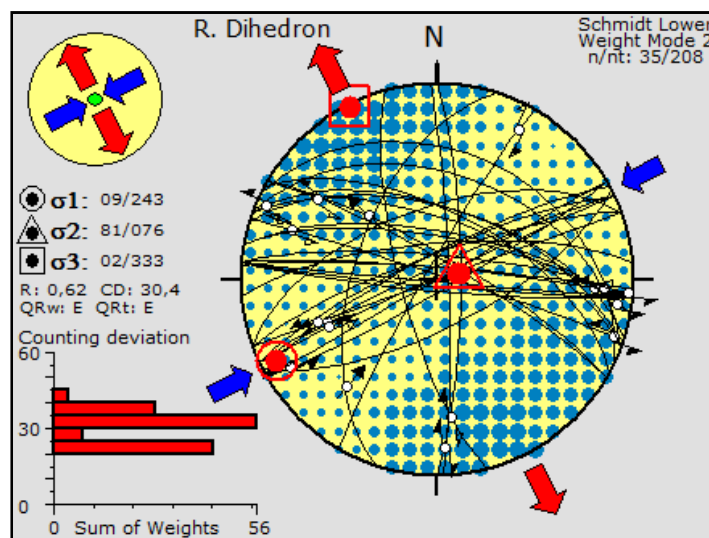


Figura 111: Diagrama de paleotensão para as falhas EW sinistrais e NS destrais.

Uma compressão mais nova, aproximadamente N-S a NNE-SSW, responsável pela formação e/ou reativação das falhas NW destrais e sinistrais NE, normais NE, normal NS (dique representando o eixo de compressão máxima de acordo com (figura 112-a) e sinistrais E-W (figura 112-b).

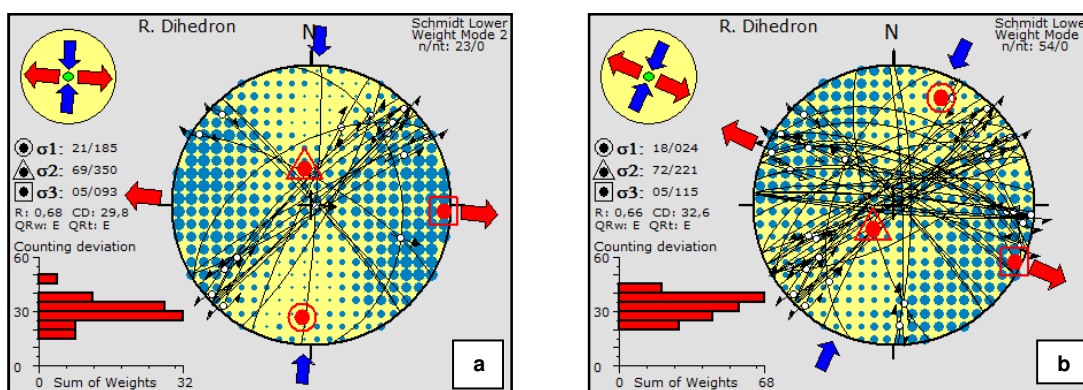


Figura 112:a) Dique NS, falhas antitéticas NE e sintéticas NW e ao lado. b) Idem ao a com sinistrais E-W

O terceiro evento com compressão máxima NW-SE e distensão aproximada NE-SW seria responsável pela formação e/ou reativação das estruturas N-S sinistrais e destal E-W (figura 113).

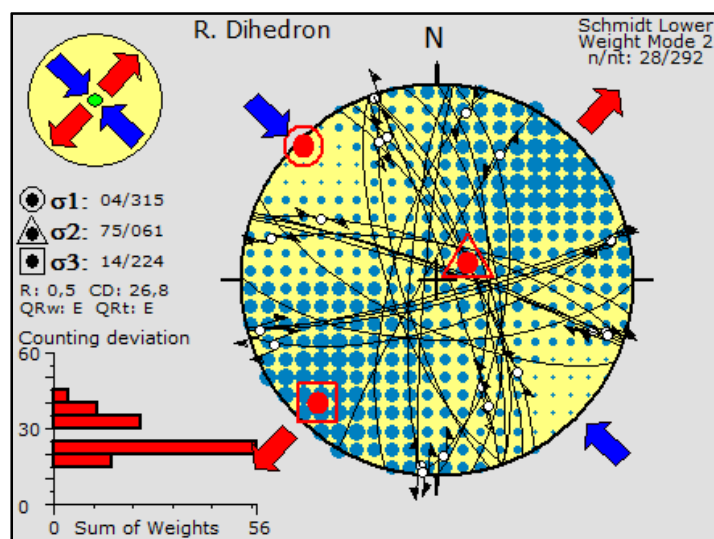


Figura 113: Diagrama para as falhas E-W destrais e N-S sinistrais

Por fim, uma compressão aproximada E-W, com distensão aproximada N-S seria responsável pela formação e/ou reativação das estruturas N30E destrais, NS destrais, sinistrais e normais E-W e também as estruturas NW-SE sinistrais. O diagrama da figura 114 com todas as estruturas acima citadas representam esse último evento.

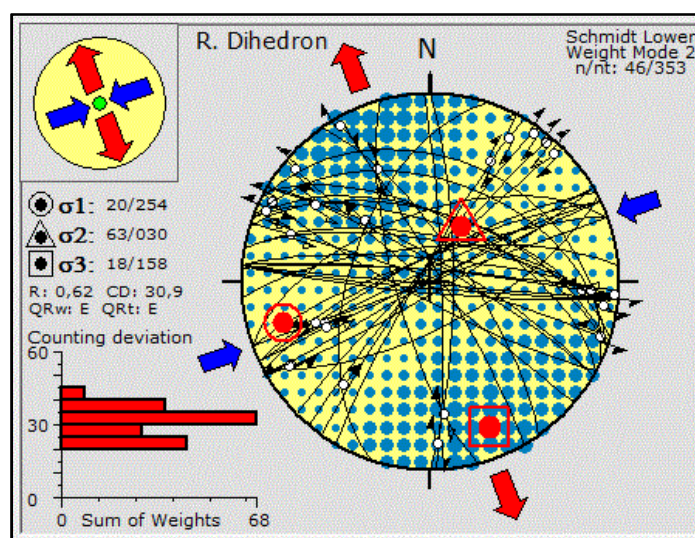
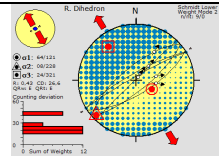
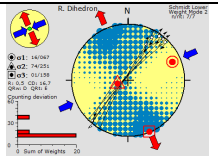
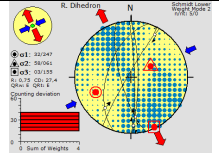
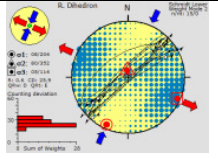
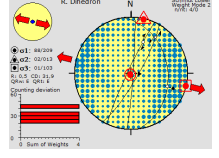
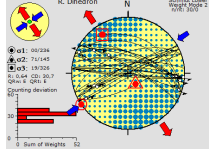
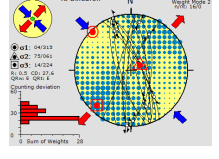
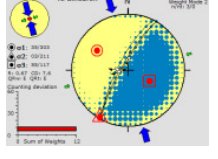
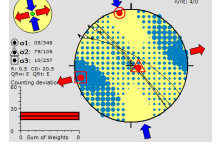
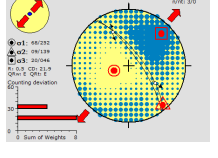
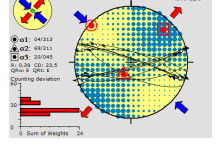
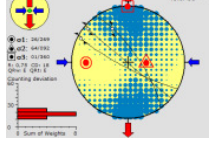
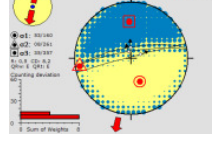


Figura 114: Diagrama de paleotensão para as falhas N30E destrais, NS destrais, sinistrais e normais E-W e estruturas NW-SE sinistrais

O quadro 03 mostra o diagrama de paleotensão para os diferentes sistemas de falhas encontrados na área.

Nomenclatura	Diagrama	Observação	Nomenclatura	Diagrama	Observação
NE-SW normais		Distensão NNW-SSE	NE-SW destrais		Distensão NNW-SSE e compressão ENE-WSW
NS dextrais		Distensão NNW-SSE e compressão ENE-WSW	NE-SW sinistrais		Compressão NNE-SSW e distensão WNW-ESE
NS normais		Distensão WNW-ESE	EW sinistrais		Compressão NE-SW e descompressão NNW-SSE
NS sinistrais		Compressão NW-SE e distensão NE-SW	NS inversas		Compressão aproximadamente NS
NW-SE dextrais		Compressão NS e distensão aproximada WE	NW-SE normais		Distensão NE-SW
EW dextrais		Distensão NE-SW e compressão NW-SE	NW-SE sinistrais		Distensão NS e compressão WE
EW normais		Distensão aproximada NS			

Quadro 3: Diagramas de paleotensão para os diferentes sistemas de falhas encontrados no Complexo Alcalino Tunas

O quadro abaixo (figura 115) sintetiza os eventos de deformação propostos para a área e os compara com autores que tem estudado o assunto.

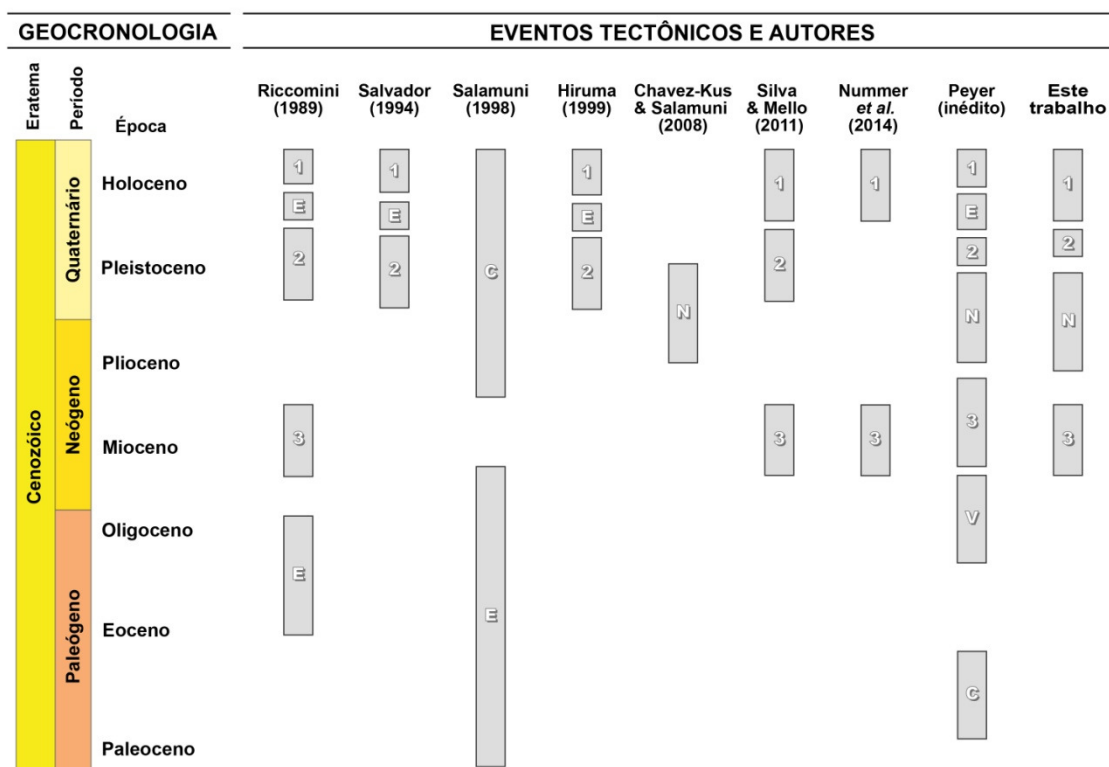


Figura 115: Quadro de eventos neotectônicos pós- cenozoicos de acordo com diversos autores, incluindo os eventos propostos neste trabalho. **E (Eoceno-Oligoceno)** de Riccomini (1989) representa extensão NNW-SSE; **E (Paleoceno ao Mioceno)** de Salamuni (1998) representa extensão em torno de E-W; **V (Oligoceno)** de Peyerl (inédito) representa σ_1 vertical com extensão NW-SE; **C (Mioceno ao Holoceno superior)** de Salamuni (1998) representa compressão de NW-SE a E-W; **C (Paleoceno)** de Peyerl (inédito) representa compressão NE-SW. **E (Holoceno)** de Riccomini (1989) representa extensão aproximadamente NW-SE; **E (Holoceno)** de Salvador (1994), Peyerl (inédito) representa extensão aproximada E-W, enquanto que **E** de Hiruma (1999) representa extensão E-W a NW-SE. **N (Plio-Pleistoceno)** de Chavez-Kus & Salamuni (2008), Peyerl (inédito) e Este trabalho representa compressão N-S. O **evento 1 (Holoceno)** foi observado pela quase totalidade dos autores e corresponde à compressão aproximada E-W, incluindo Salamuni (1998), neste caso representado por **C**. O **evento 2 (Pleistoceno)** representa compressão aproximadamente NW-SE que geram, principalmente, as transcorrências E-W destrais. O **evento 3 (Mioceno)** representa compressão aproximadamente NE-SW que geram, principalmente, as transcorrências E-W sinistrais

Até o presente momento, o Complexo Alcalino foi estudado por diversos autores, mas nenhum enfocou aspectos pertinentes à tectônica, à deformação que ocorreu depois da intrusão desse maciço de orientação geral N45W. Para que a ciência se desenvolva, é preciso que haja mais estudos de natureza cada vez mais integrada, por assim dizer. Integrar o macro com o micro e vice-versa (figura 116).

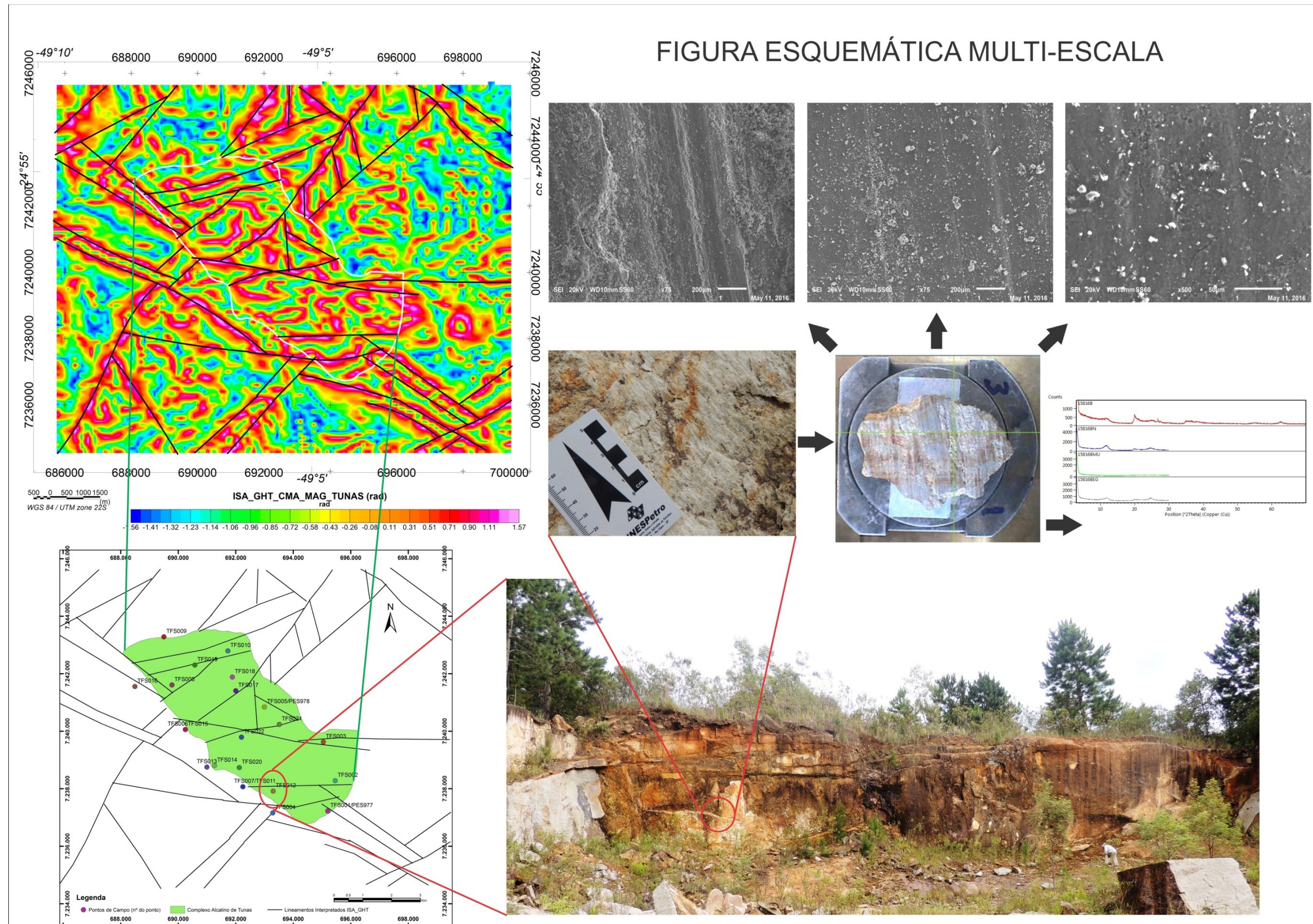


Figura 116: Figura esquemática multi-escala mostrando a relação entre a interpretação ISA-GHT, os pontos de campo, plano de falha EW, estrias em MEV e difratograma da caulliniita

REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO

ALMEIDA, F.F.M.; 1967. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. Ministério das Minas e Energia. Boletim n. 241. Rio de Janeiro. 36p.

ALMEIDA F.F.M.; 1983. **Relações tectônicas das Rochas Alcalinas Mesozóicas da Região Meridional da Plataforma Sul-Americana**. Revista Brasileira de Geociências, vol. 13. N.3. p.139-158.

BAÊTA, R.M. 2004. **Caracterização petrográfica, faciológica e tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas/PR**. Dissertação de mestrado, UFPR. 181p.

BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R.; 1958. **Estudos preliminares da Série Açungui. VIII. A Formação Votuverava**. Boletim do Instituto de História Natural. Geologia. 2.1-6.

BIGARELLA, J.J.; 1999. **A Serra do Mar**. In_: Serra do Mar (*Sea Mountain Range*). [versão para o inglês: Ivan Justen Santana, Reina Pimentel]; fotos: Helmuth Erich Wagner. Curitiba:J.A.Melo, 60p. 5-9p.

BIONDI, J. C.; 1983. **Mapa Geológico da área do Escudo do Estado do Paraná: escala 1:250.000**.

BIZZI, L. A. & VIDOTTI, R.M.; 2003. **Condicionamento do Magmatismo pós-Gondwana (cáp. VI). Setting of post-Gondwana Magmatism**. In_: Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Textos, mapas e SIG. Editores: Bizzi, L.A.; Schobbenhauss, C.; Vidotti, R.M.; Gonçalves, J.H. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Brasília.p. 335-361. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=790&sid=9>>. Acesso em: 17/11/2015.

CAMPANHA, G.A.; 2002. **O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira. Tese (Livre-Docência)** – Instituto de Geociências Universidade de São Paulo, 105 p.

CCGP - Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1970. TREIN, E.; MURATORI, A.; FUCK, R.A.; MARINI, O.J.; DAIRIKI, T.; DAIRIKI, J.; RIVEREAU, J.C. **Folha Geológica de Tunas: 1:70.000**.

CHAVEZ-KUS L. & SALAMUNI E. 2008. **Evidência de tensão N-S intraplaca no Neógeno, Complexo Atuba - região de Curitiba**. Rev. Bras. Geoc., 38(3):439-454.

CPRM. **Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. 2011. Programa Geologia do Brasil (PGB): Projeto aerogeofísico Paraná – Santa Catarina. Volume I, 88p. Texto técnico e anexos.

CURY, L. F.; KAULFUSS, G.A.; SIGA JR, O.; BASEI, M.A.S.; HARARA, O.M.; SATO, K. 2002. **Idades U-Pb (Zircões) de 1.75 Ga em granitóides alcalinos deformados dos núcleos Betara e Tigre: evidências de regimes extensionais do Estateriano na Faixa Apiaí**. Geol. USP, Sér. cient. vol.2, p.95-108. Disponível em: <<http://ppegeo->

local.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-874X2002000100009&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 12/10/2015.

CURY, L. F.; SIGA JR, O.; HARARA, O. M. M.; PRAZERES FILHO, H. J. D.; & BASEI, M. A. S.; 2008. **Aspectos tectônicos das intrusões dos granitos do Cerne, Passa Três e Rio Abaixo, sudeste do Pré-Cambriano Paranaense: estudo baseado em datações.** Geologia USP. Série Científica, 87-104.

DEHLER, N.M. & MACHADO, R. 2006. **Introdução aos conceitos de transpressão e transtração e exemplos de cinturões transpressivos.**São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, Série Textos n.º 02.64p.

FALEIROS, F.M.; 2008. **Evolução de terrenos tectono-metamórficos da serra da do Ribeira e planalto Alto Turvo (SP, PR).** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 302p. Disponível em<
www.cprm.gov.br/publique/media/dou_frederico_faleiros.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.

FASSBINDER, E.; 1990. **Análise Estrutural da Falha da Lancinha, Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado.** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 165 f.

FASSBINDER, E.; SADOWSKI, G. R.; FIORI, A. P.; 1994. **Modelo de Riedel aplicado no Lineamento Lancinha, no Estado do Paraná.** Boletim Paranaense de Geociências. v. . 42. pp 173-184.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M. 1993. **Silicificação hidrotermal neocretácea na porção meridional da Bacia Bauru.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 19-26.

FERREIRA, F. J. F. ; ALGARTE, J. P. 1979. **O comportamento aeromagnetométrico-cintilométrico das principais rochas alcalinas dos estados de São Paulo e Paraná.**In_: II Simpósio Regional de Geologia., 1979, Rio Claro-SP. Atas do II Simpósio Regional de Geologia.. São Paulo-SP: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, p. 195-208.

FERREIRA, F. J. F.; **Integração de Dados Aeromagnéticos e Geológicos: Configuração e Evolução Tectônica do Arco de Ponta Grossa.** Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.1982.

FERREIRA, F. J. F., SOUZA, J., BONGIOLO, A. B. S., CASTRO, L. G., ROMEIRO, M. A. T. 2010.**Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico.** Parte I: Aplicação a dados sintéticos. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, 1, 1-6. Brasília: SBGf.

FERREIRA, F. J. F., SOUZA, J., BONGIOLO, A. B. S, CASTRO, L. G. 2013. **Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle.** *Geophysics*: 78(3), J33-J41.

FIORI, A.P.; 1985. **Avaliação preliminar do deslocamento dúctil das falhas da Lancinha e Morro Agudo no Estado do Paraná.** Boletim Paranaense de Geociências, 36: p.15-29.

FIORI, A.P.; FASSBINDER, E.; GOIS, J.R.; FUMAGALLI, C.E. 1987. **Compartimentação tectônica do Grupo Açungui a norte de Curitiba.** III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, Atas, v. 1, p. 183-196.

FIORI, A.P.; 1992. **Evolução geológica da Bacia Açungui.** Boletim Paranaense de Geociências, V. 42, p. 07-27.

FIORI, A. P.; 1992. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui, PR.** Boletim IG-USP. Série Científica, v. 23, p. 55-74. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/bigsc/article/view/45114/48726>>. Acesso em: 11 novembro de 2014.

FIORI, A.P.; FASSBINDER, E.; RABELO, L. 1998. **Geologia da Região de Tunas -Paraná-Brasil.** Boletim Paranaense de Geociências. Editora da UFPR, n.º 46, p. 141-150.

FOSSON, H.; 2012 **Cinemática e paleoesforços em regime rúptil (cap. 09). pag. 247-262.** In_: Geologia Estrutural; tradução Fábio R.D. de Andrade - São Paulo: Oficina de Textos.

FUCK, A.F.; 1972. **Geologia do Maciço Alcalino de Tunas, Paraná, Brasil.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 82p.

FULFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M. V.; VIANNA, R. B; 1982. **Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências. vol. 12 (4): 590-611.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; 1980. **Estruturas e tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 52, p. 61-76.

HASUI, Y.; EBERT, H.D.; QUADRE, H. 1984. **Aspectos geológicos da megantiforma da Serra do Cadeado, PR.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, 1984, Rio de Janeiro. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia: SBG, p. 2380-2393.

HASUI, Y.; 2010. **A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional.** Geociências: São Paulo, v. 29, n. 2, p. 141 – 169, 2010. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/29_2/Art_1_Hasui.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2014.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A.; 2004. **Província Mantiqueira.** In_: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. 2004. Geologia do Continente Sul- Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 203-234pp.

HIRUMA, S.T.; 1999. **Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão (SP).** Universidade de São Paulo: Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado. São Paulo. Disponível em: <

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-15052014-094033/pt-br.php> >. Acesso em: 12 de outubro de 2014.

JACQUES, P. D. 2013. **Tectônica transcorrente mesozoica-cenozoica na borda leste da bacia do Paraná, estado de Santa Catarina**. Tese de doutoramento. 248p. USP. São Paulo.

jspacesystems. 2011. **ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER-GDEM)**. Disponível em: < <https://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html> >. Acesso em: 26/11/2015.

MAACK, R.; 1947. **Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina**. *Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal. Jubilee volume* (1946-2001) : pp. 169 - 288.

MAACK, R.; 1961. **Sobre a ocorrência de granitos alcalinos no Estado do Paraná e sua posição dentro das fases orogenéticas algonquianas**. Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geologia, 4:1- 52.

MACEDO, A.B.; 1986. **Prospecção litogeoquímica na Mina do Perau, Paraná**. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo: Instituto de Geociências. vol. I. 162p.

MACHADO JR. D.L.; 2000. **Condicionamento Estrutural e Contexto Tectônico do “Alinhamento de Guapiara”**. São Paulo, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 143 p

MELCHER, G.C.; GOMES, C.B.; CORDANI, U.C.; BETTERCOURT, J.S.; DAMASCENO, E.C.; GIRARDI, V. A. V.; MELFI, A. J.; 1973. **Geologia e Petrologia das Rochas Metamórficas e Graníticas associadas do Vale do Ribeira do Ribeira de Iguapé, SP e PR**. Revista Brasileira de Geociências. SBG. Volume 03, p. 97-123.

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B.; 2007. **Bacia do Paraná**. Bol. Geoci.Petrobras: Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287. Disponível em: <<http://vdpf.petrobras.com.br/vdpf/PDFHighlightServlet.svlt?acao=pdf&codigoArtigo=84>>. Acesso em: 15/10/2015.

MINEROPAR. 2005. **Folha de Itararé: 1.250.000**. Disponível em: < http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geologia/PDF_Mapas_Geo_250000/Itarare.PDF >. Acesso em: 10/10/2014.

MINEROPAR. 2006. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná. Escala base 1:250.000. Modelos reduzidos 1:500.000**. Curitiba: Minerais do Paraná: Universidade Federal do Paraná., 2006. 63p. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorforlogico_Parana_2006.pdf>. Acesso em: 5 de março de 2015.

MIZUSAKI, A.M.P. & THOMAZ-FILHO, A.; 2004. **O magmatismo pós-Paleozoico no Brasil**. p. 281-291. In: Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução e Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 647p.

MOTA, C. E. M.; 2012. **Petrogênese e geocronologia das intrusões alcalinas de Morro Redondo, Mendanha e Morro de São João: caracterização do magmatismo alcalino no Estado do Rio de Janeiro e implicações geodinâmicas**. 204 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NUMMER, A.R.; MACHADO, R.; JACQUES, P.D. 2014. **Tectônica transcorrente mesozoica/cenozoica na porção leste do Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil**. *Pesquisas em Geociências*, 41 (2): 121-130. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

PETIT, J.P.; 1987. **Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks**. *Journal of Structural Geology*, Vol. 9, N°. 5/6, pp. 597-608

RICCOMINI, C.; 1989. **O rift continental do sudeste do Brasil**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 256p. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-18032013-105507/en.php>>. Acesso em: 12/10/2014.

RICCOMINI C.; SANT'ANNA LG.; FERRARI, AL.; 2004. **Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil**. In_: Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo. p. 383-405. Beca.

ROLDAN L.F. 2007. **Tectônica rúptil Meso-Cenozóica na região do Domo de Lages, SC**. **Dissertação** de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 121 p.

I

SAADI, A. *et al.* 2005. **Neotectônica da plataforma brasileira**. In_: Quaternário no Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 211-230.

SALVADOR, E.D.; 1994. **Análise neotectônica da região do Vale do rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)**. Universidade de São Paulo: Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado. 109p.

SALAMUNI, E.; FIORI, A. P.; WERNICK, E. 1993. **Características estruturais e evolução tectônica do Núcleo Betara a norte de Curitiba (PR)**. Boletim Paranaense de Geociências, v. 41, p. 91-127.

SALAMUNI E.; 1998. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual-Rio Claro. Tese de Doutorado, 214 p.

SALAMUNI, E. 2014. **Mapeamento e reconhecimento de estruturas tectônicas**. In_: Tópicos especiais em cartografia geológica. Ed. Rubens José Nadalin. p.140-181.

SALVADOR, E.D.; 1994. **Análise neotectônica da região do Vale do rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)**. Universidade de São Paulo: Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado. 109p.

SEMA-Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2010. **Bacias hidrográficas do Paraná**. In_ Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira. p-43-50. Curitiba,PR. Disponível em: <
http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Paran_a.pdf>. Acesso em: 14/06/2016.

SERVIÇOS AEROFOTOGRAFAMÉTRICOS CRUZEIRO DO SUL S.A. 1963. **Fotografias aéreas na escala 1:70.000**.

SILVA, T.P. & MELLO, C.L. 2011. **Reativações Neotectônicas na Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (Sudeste do Brasil)**. Revista do Instituto de Geociências - USP 95 - Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 11, n. 1, p. 95-111. Disponível em:
 <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/guspsc/v11n1/06.pdf>>. Acesso em: 20/06/2016.

SIGA JÚNIOR, O.; GOMES, C.B.; SATO, K.; PASSARELLI, C.R.; 2007-a. **O Maciço Alcalino de Tunas, PR: Novos Dados Geocronológicos**. 2007. Revista do Instituto de Geociências (USP). Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 7, n. 2, p. 71-80. Disponível em:
 <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/guspsc/v7n2/05.pdf>>. Acesso em junho de 2014.

SIGA JÚNIOR, O., BASEI, M. Â. S., PASSARELLI, C. R., HARARA, O. M., SATO, K., CURY, L. F., & DOS PRAZERES FILHO, H. J. 2007-b **Geocronologia de rochas gnáissico-migmatíticas e sienograníticas do Núcleo Setuva (PR): implicações tectônicas**. Revista Brasileira de Geociências, 37(1), p. 114-128.

SOUZA, P.C.M. de.; 2011. **Análise cinemática e dinâmica dos sistemas de falhas Cenozoicas ENE-WSW do entorno da Laguna de Araruama (RJ)**. Disponível em:<
http://ppgl.geologia.ufrj.br/media/pdfs/Pricilla_de_Souza_Mestrado.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2014.

SPINELLI, F.P.; & GOMES, C.B.; 2008. **A Ocorrência Alcalina de Cananéia, Litoral Sul do Estado de São Paulo: Geologia e Geocronologia**. Revista do Instituto de Geociências - USP. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 8, n. 2, p. 53-64. Disponível em:
 <<http://www.revistas.usp.br/guspsc/article/viewFile/27449/29221>> Acesso em:11/11/2015.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A.C.R. 1999. **Critical review of the geologic information about the Neogenic Barreiras Formation (or Group?) and its possible meaning as record of some worldwide geological events**. Geociências (São Paulo), v. 18, n. 2, p. 461-479.

TREIN, E.; MARINI, O.J.; FUCK,R.A. 1967. **Rochas Alcalinas no Primeiro Planalto do Estado do Paraná**. In: Bigarella, J.J.; Salamuni, R.; Pinto, V.M. ed. Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subsequentes da Porção Oriental do Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, n° 23-25, p. 325-347.

ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C. de B.; 1981. **Alkaline rock from continental Brazil**. *Earth Sci. Rev.* 17 :135-154.

VASCONCELLOS, E.M.G.; 1991. **Investigações Geológicas e Petrológicas das Brechas Vulcânicas do Maciço de Tunas, PR**. São Paulo. 128 p. (Dissertação de Mestrado, IG/USP).

VASCONCELLOS, E.M.G & GOMES, C.B.; 1992. **Caracterização petrográfica de brechas vulcânicas no Coimplexo Alcalino de Tunas, PR.** Revista Brasileira de Geociências 22(3):p. 269-274. Disponível em: <<http://rbg.sbgeo.org.br/index.php/rbg/article/view/419/112>>. Acesso em: outubro de 2015.

VASCONCELLOS, E.M.G. 1995. **Petrologia e geoquímica de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa do estado do Paraná, São Paulo.** (Tese de doutorado em Mineralogia e Petrologia)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44135/tde-28102015-105327/> Acesso em: 09 de Junho de 2014.

XAVIER, F.C.B. 2016. **Assinatura geoquímica de feldspatos alcalinos dos sienitos do Complexo Alcalino de Tunas - PR:Influência dos processos tardi e pós magmáticos na assembleia mineral primária.** Dissertação de mestrado, UFPR, 140p. Curitiba-PR.

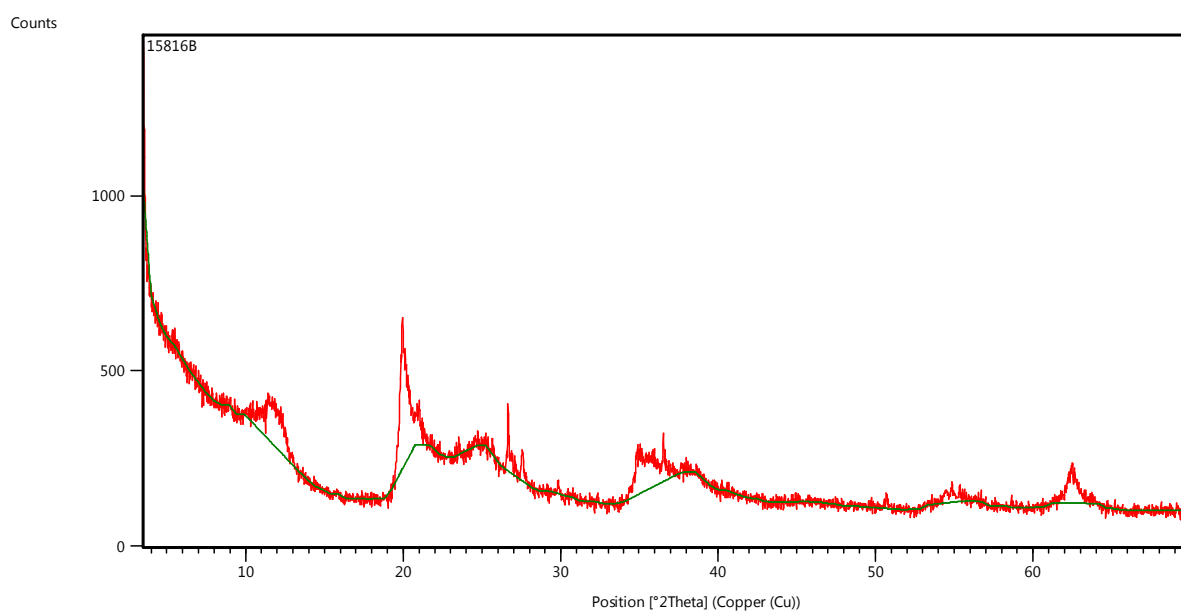
ZÁLAN, P.V.; 2004. **Evolução Fanerozoica das Bacias Sedimentares Brasileiras.** In_Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida/Org. por Virginio Mantesso-Neto...[*et al.*], -São Paulo ; Beca. p.595–612.

ANEXOS

ANEXO 1

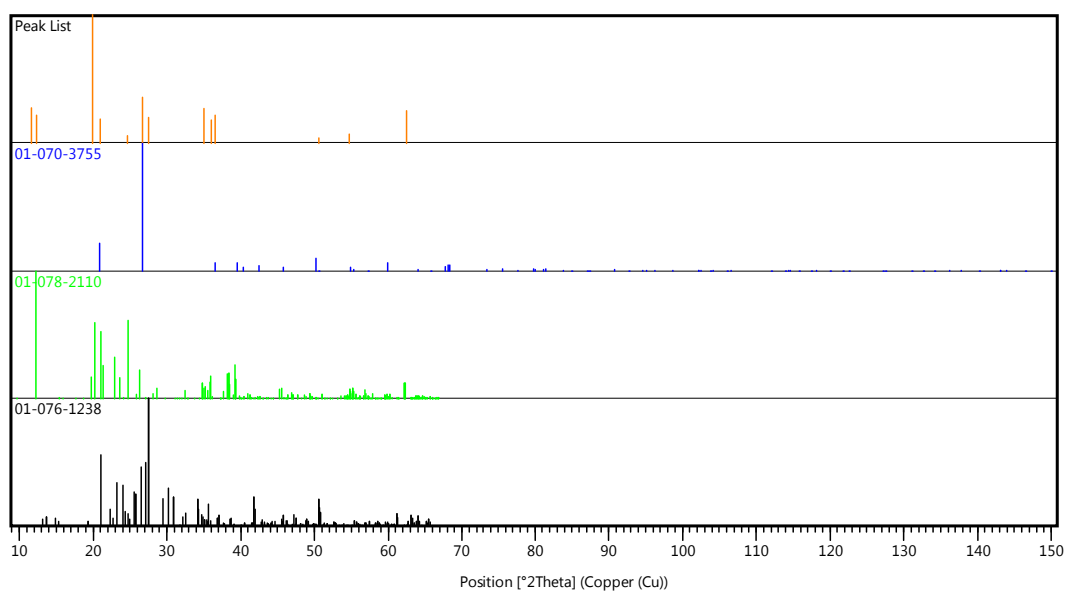
AMOSTRA TFS012

Dataset Name 158/16B – TFS – 012 D

Graphics:

Identified Patterns List:

Ref. Code	Compound Name
01-070-3755	Quartzo
	Caulinita (Grupo)
01-076-1238	Feldspato alcalino (Grupo)

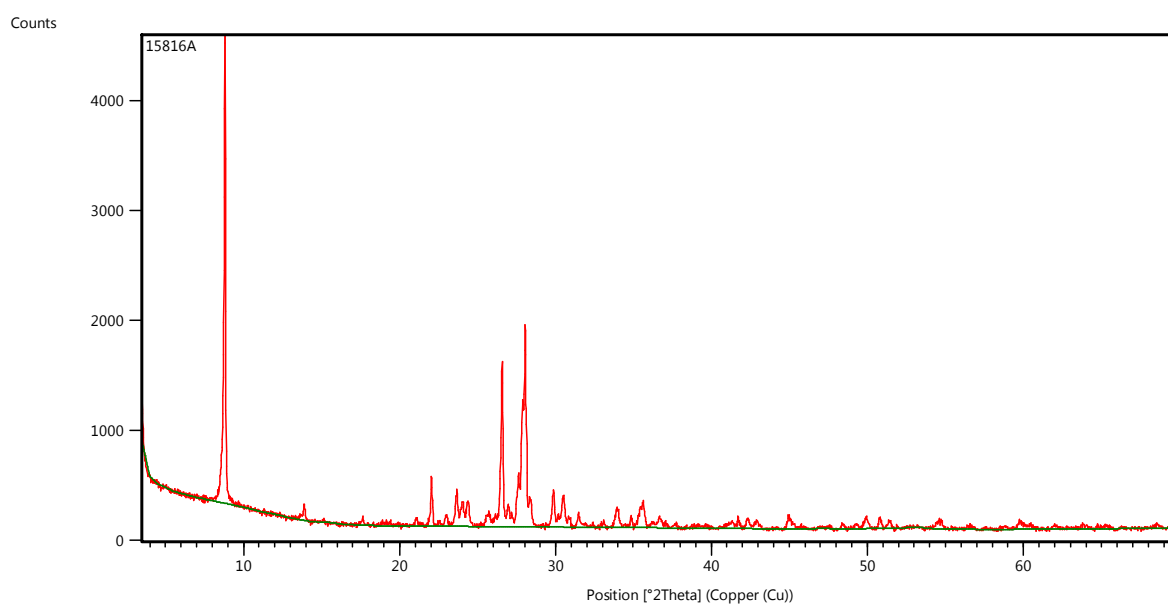
Plot of Identified Phases:

ANEXO 2

AMOSTRA TFS019

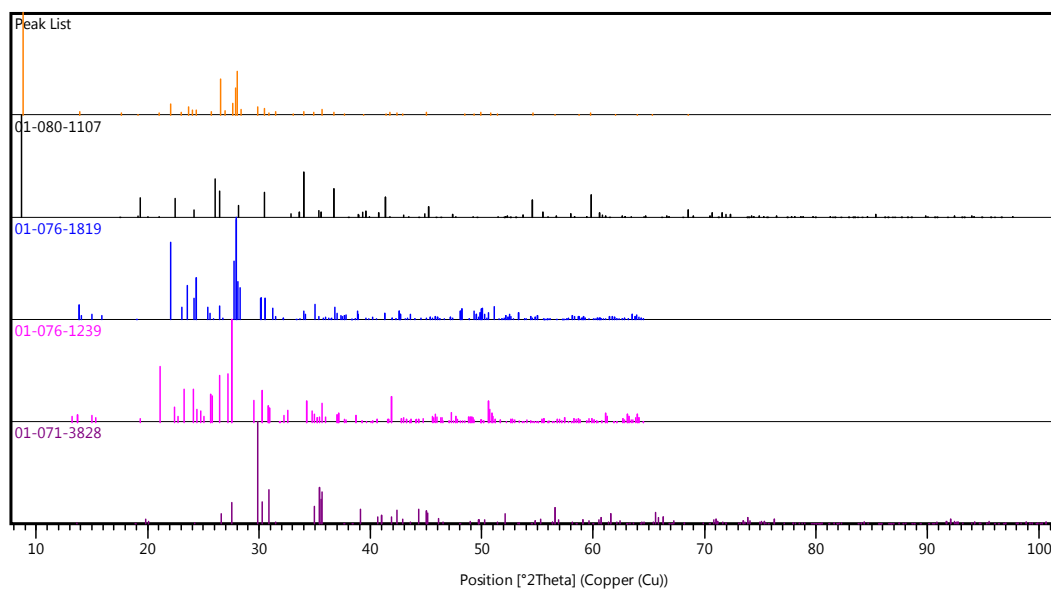
Anchor Scan Parameters:

Dataset Name	158/16A – TFS 019 A
End Position [°2Th.]	70
Step Size [°2Th.]	0.02
Scan Step Time [s]	10
Scan Type	Continuous
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Spinning	Yes

Graphics:

Identified Patterns List:

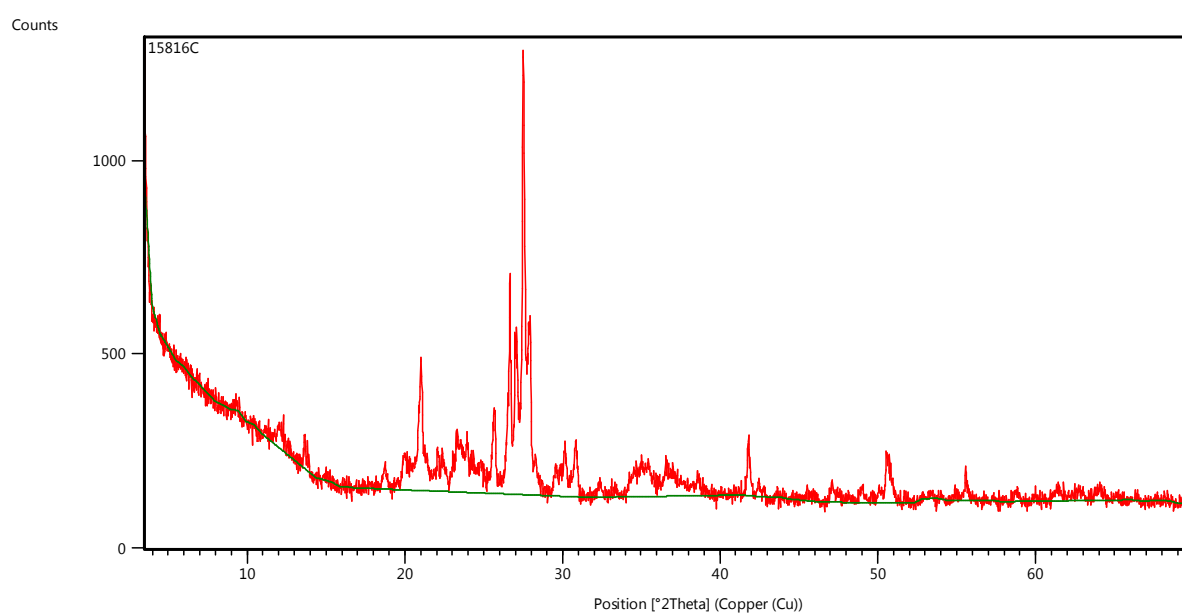
<i>Ref. Code</i>	<i>Compound Name</i>
01-080-1107	Mica (Grupo)
01-076-1819	Plagioclásio (Grupo)
01-076-1239	Feldspato alcalino (Grupo)
01-071-3828	Piroxênio (Grupo)

Plot of Identified Phases:

ANEXO 3

AMOSTRA TFS021

Dataset Name 158/16C – TFS – 021 B1

Graphics:

Identified Patterns List:

Ref. Code	Compound Name
01-072-1114	Feldspato alcalino (Grupo)
01-075-1142	Plagioclásio (Grupo)
01-085-1054	Quartzo
	Caulinita (Grupo)
	Ilita/ Mica (Grupo)

Plot of Identified Phases: